

EIN HIERARCHISCHES MODELLSYSTEM ZUR STRATEGISCHEN UND
OPERATIVEN FERTIGUNGS- UND INVESTITIONSPROGRAMMPLANUNG
IN DER AUTOMOBILINDUSTRIE

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung
des Grades Doctor oeconomiae publicae (Dr. oec. publ.)
an der Ludwig-Maximilians-Universität
München

vorgelegt von
Wolfgang Kozak
Frühjahr 1985

EIN HIERARCHISCHES MODELLSYSTEM ZUR STRATEGISCHEN UND
OPERATIVEN FERTIGUNGS- UND INVESTITIONSPROGRAMMPLANUNG
IN DER AUTOMOBILINDUSTRIE

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung
des Grades Doctor oeconomiae publicae (Dr. oec. publ.)
an der Ludwig-Maximilians-Universität
München

vorgelegt von
Wolfgang Kozak
Frühjahr 1985

Referent:

Prof. Dr. F. Hanssmann

Korreferent:

Prof. Dr. K. Oettle

Promotionsabschluß-
beratung

24. Juli 1985

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Abbildungsverzeichnis	IX
Vorwort	1
1. Einführung	3
1.1. Derzeitiger Stand der strategischen Unternehmensplanung in Theorie und Praxis	3
1.1.1. Von den Unternehmensrichtlinien des 19. Jahrhunderts zum Strategischen Management des 20. Jahrhunderts: Ein kurzer Abriß der historischen Entwicklung der strategischen Planung -	4
1.1.2. Kennzeichen und Ziele einer effizienten strategischen Unternehmensplanung	8
1.1.3. Die Abgrenzung von strategischen und operativen Planungsprozessen nach dem Leitbild der stufenweisen Konkretisierung planerischer Aktivitäten	12
1.2. Darlegung der Inhalte und Prämissen der vorstehenden Analyse zur exakten Abgrenzung der Problemstellung	15
1.2.1. Quantitative Systemmodelle im Dienste der Ermittlung optimaler Ressourcen- und Investitionsstrategien	16
1.2.2. Der Einfluß produktpolitischer Zielsetzungen auf die Effizienz der Akquisitions- und Investitionspolitik	22
1.2.3. Leitlinien für eine wirksame (optimale) Investitionsmittelallokation durch Aktivitäten der strategischen Planung	26
1.2.4. Zusammenfassung und Ausblick	29

	Seite
1.3. Operationale strategische Planungs- prozesse der Akquisitions- und Inve- stitionspolitik	32
1.3.1. Merkmale und Zielsetzungen der opera- tionalen strategischen Planung als Beitrag zu einer kommunizierbaren Un- ternehmensplanung	33
1.3.2. Einordnung der vorliegenden praktischen Problemstellung in den Rahmen der opera- tionalen strategischen Planungsprozesse	36
1.4. Merkmale, Inhalte und Zielsetzungen ei- nes hierarchischen Modellsystems der in- tegrativen strategischen und operativen Fertigungs- und Investitionsprogrammplan- nung	40
2. Die (theoretische) Grundkonzeption eines strategischen Modells der Akquisitions- und Investitionsprogrammplanung	44
2.1. Der Prozeß der Auswahl problemadäquater Entscheidungskriterien	45
2.1.1. Die Suche nach operationalen Entschei- dungskriterien	46
2.1.2. Die Definition des gewählten Entschei- dungskriteriums gemäß den Grundsätzen der Entscheidungsabhängigkeit	49
2.2. Die Erzeugung der Handlungsalternativen und Definition der Entscheidungsvariablen	55
2.2.1. Die Festlegung eines problemrelevanten Planungszeitraums	56
2.2.2. Die Formulierung eines statischen Ent- scheidungsraumes	59

	Seite
2.2.3. Dynamisierung des Entscheidungsraumes unter Beachtung problemlösungstechni- scher (EDV-mathematischer) Restrik- tionen	64
2.3. Konstruktion und Validierung des strategischen Entscheidungsmodells	68
2.3.1. Die Auswahl zielrelevanter Umweltfak- toren und Formulierung der Erklärungs- hypothese	69
2.3.1.1. Die entscheidungsabhängigen Kosten der Wertschöpfung in den Konstruktionsgrup- pen	76
2.3.1.2. Die entscheidungsabhängigen Abschrei- bungen auf Betriebs- und Sonderbe- triebsmittel in den Hauptkostenstellen	98
2.3.2. Die Formulierung des Restriktionssystems unter Beachtung handlungsrelevanter Um- weltparameter	108
2.3.2.1. Die Analyse technisch-ökonomischer Knappheitsrelationen	109
2.3.2.2. Die Darstellung der Budgetrestriktionen	118
2.3.2.3. Die Erörterung von Systemen der Limitie- rung offener strategischer Handlungs- spielräume durch allgemeine unternehmens- politische Gründe	121
2.3.3. Die Einführung fakultativer ziel- und handlungsrelevanter Strukturmerkmale in der erweiterten Version des strategischen Entscheidungsmodells	123
2.3.3.1. Die modellendogene Berücksichtigung des	

	Seite
Einflusses von Umweltturbulenzen mittels dynamisierter Parameterwerte und zusätzlicher Korrekturfaktoren	125
2.3.3.1.1. Die Erfassung des Einflusses inflationärer Prozesse auf das Wertgerüst entscheidungsabhängiger Kosten	126
2.3.3.1.2. Der Einbezug technischen Fortschritts in der Prozeßtechnologie und dessen Auswirkungen auf die Kostenbestimmungsfaktoren	131
2.3.3.1.3. Die Berücksichtigung veränderter Produktkonzeptionen und deren Einfluß auf die innerhalb des Planungszeitraums zu befriedigenden Kapazitätsbedarfe	134
2.3.3.1.4. Die zusammenfassende Darstellung der erweiterten Version des strategischen Entscheidungsmodells mit dynamisierten Parameterwerten und zusätzlichen Korrekturfaktoren	137
2.3.3.2. Möglichkeiten einer sinnvollen Einschränkung der zu bewältigenden Problemdimensionen	139
2.3.4. Erläuterungen zu Maßnahmen der Validierung des strategischen Entscheidungsmodells	149
2.3.5. Möglichkeiten und Maßnahmen zur mathematischen Auswertung des vorliegenden Modellkonzepts nichtlinearer Relationen	153
2.3.5.1. Leitsätze zur Auswahl geeigneter mathematischer Problemlösungstechniken	154
2.3.5.2. Chancen und Risiken einer Linearisierung der Modellstruktur zum Zwecke der Anwendung herkömmlicher Linear-Programming-Techniques	158

	Seite
2.3.5.3. Spezifische Eigenschaften sowie Voraussetzungen der Verwendung nicht-linearer Heuristikprogramme zur EDV-mathematischen Umsetzung des nicht-linear strukturierten Modellkonzepts	162
2.3.5.4. Kritische Würdigung des dargestellten Modellansatzes	169
3. Das strategische Modellsystem einer effizienten Fertigungs- und Investitionsprogrammplanung im Teststadium: Die mathematische Auswertung des Modellkonzepts mit nichtlinearen Relationen	171
3.1. Formale und materielle Kriterien zur Beurteilung der grundsätzlichen Eignung und Effizienz von nichtlinearen Auswertungsprozeduren	172
3.2. Detaillierte Wertschätzung effizienter nichtlinearer Lösungstechniken der engeren Wahl	180
3.2.1. Reduced-Gradient-Typ-Methoden	181
3.2.2. Quadratic-Approximation-Verfahren	190
3.2.3. Penalty-Funktion-Methoden	193
3.2.4. Augmented-Lagrangian-Algorithmen	198
3.3. Der Augmented-Lagrangian-Ansatz nach Pierre/Lowe: Eine ausgewogene Lösungstechnik für Large-Scale-Problems	209
3.3.1. Kurzbeschreibung der mathematischen Strukturen und der Arbeitsweise des Verfahrens	210
3.3.2. Erstellung einer APL-Version des Pierre-Lowe'schen Verfahrens	227

	Seite
3.3.2.1. Chancen und Risiken einer "intelligenten Programmierung" in APL	228
3.3.2.2. Darlegung der Effizienz der APL-Version des Pierre-Lowe'schen Algorithmus anhand auserwählter Testbeispiele	231
3.3.2.2.1. Testergebnisse bei geringen Problemumfängen	232
3.3.2.2.2. Erläuterungen zur Erfahrung mit Large-Scale-Problems	241
3.3.2.3. Maßnahmen zur Steigerung der Leistungsfähigkeit der APL-Version des Augmented-Lagrangian nach Pierre-Lowe	246
3.3.3. Die Darlegung des Leistungsspektrums einer modifizierten Fortran-V-Fassung des Algorithmus anhand auserwählter Testbeispiele	251
3.3.3.1. Erläuterung zu gegenüber der Pierre-Lowe'schen Urversion vorgenommenen Programm-Modifikationen	253
3.3.3.2. Testergebnisse bei geringen Problemumfängen	258
3.3.3.3. Die Präsentation der Erfahrungen mit großvolumigen Problemstellungen der betrieblichen Praxis	261
3.3.4. Aufbereitung der Datenstruktur des strategischen Entscheidungsmodells für die Zwecke einer mathematischen Auswertung mittels der Fortran-V-Version des Augmented-Lagrangian nach Pierre-Lowe	268
3.3.5. Kritische Würdigung erster Ergebnisse von Modellauswertungen auf der Basis von Spieldaten	281

		Seite
3.4.	Möglichkeiten der Durchführung "systemgesteuerter" Sensitivitätsanaly- sen auf der Grundlage von Initialaus- wertung des strategischen Modellsystems	284
3.4.1.	Chancen und Risiken systemgestützter Sensitivitätsanalysen	285
3.4.2.	Die Nutzung optimaler Lagrange-Multi- plikatoren zur Abschätzung der Sensi- tivität der Entscheidungssituation ge- genüber signifikanten Änderungen der Re- stiktionsplafonds	288
4.	Der Einsatz des strategischen Modell- systems in der betrieblichen Praxis	295
4.1.	Die Erhebung der Modellparameter	296
4.1.1.	Klassifizierung der Systemparameter nach Datenarten sowie Aufwendigkeit der zu ihrer Beschaffung erforderlichen Schätzung (Prognosen)	298
4.1.2.	Die Definition der System-Schnittstellen zu Primärdatenbanken sowie weiteren vor- gelagerten Sekundärdatenkonfigurationen	313
4.1.3.	Die Durchführung einer geschichteten Stichprobe mit Schwerpunkt auf "wichti- gen Vorprodukten" zum Zwecke der Ermitt- lung entscheidungsabhängiger Hauskosten- werte w_{it}^{jk}	319
4.1.3.1.	Erläuterung zum Begriff "Wichtiges Teil (Vorprodukt)"	320
4.1.3.2.	Anmerkungen zur methodischen Anlage der geschichteten Stichprobe mit Hinweis auf statistische Grundlagen und Maßnahmen zur praktischen Durchführung	323

	Seite
4.1.3.3. Die Analyse der Validität und Reliabilität der via Zufallsauswahl ermittelten Belegungen für interne Wertschöpfungsbeträge	329
4.1.4. Die Durchführung einer einfachen Regressionsanalyse zur Erzeugung plausibler Lebensdauerfunktionen für einzelne Anlagenklassen	331
4.1.4.1. Anmerkungen zur Motivation einer regressionsanalytischen Bestimmung charakteristischer Anlagenlebensdauern	332
4.1.4.2. Erläuterung zum methodisch-statistischen Aufbau der Regressionsanalyse mit Hinweisen auf Maßnahmen zu deren EDV-konformen Durchführung	334
4.2. Die Darstellung von Maßnahmen zur benutzerfreundlichen Gestaltung des strategischen Planungsmodells als "Knopfdrucksystem"	341
4.3. Das hierarchisch strukturierte Modellsystem zur strategischen und operativen Fertigungs- und Investitionsprogrammplanung als integratives Planungskonzept	353
4.3.1. Die Kurzbeschreibung des operativen Planungsmodells zur wirtschaftlichen Teilefertigung	354
4.3.2. Die Verknüpfung des operativen Planungssystems mit dem strategischen Entscheidungsmodell zu einem umfassenden hierarchischen Planungsansatz der Akquisitions- und Investitionspolitik	361
Schlußwort	366
Anhang	368
Literaturverzeichnis	XI
Kritische Würdigung der präsentierten Planungskonzepte und Ausblick auf zukünftige Aktivitäten	

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 1 Die historischen Entwicklungsstufen der strategischen Unternehmensplanung	368
Abb. 2 Die logische Abfolge der interdependenten strategischen Spielräume eines Unternehmens (vgl. Haussmann 1982)	368
Abb. 3 Die quantifizierende Zieldekomposition zur Erzeugung operationaler Unternehmensziele (vgl. Hausmann 1978)	368
Abb. 4 Die charakteristischen Phasen einer Systemstudie (in Anlehnung an Hausmann 1978)	368
Abb. 5 Zulässige Zeitpfade produkttechnologiespezifischer Haus-(Fremd-)fertigungsanteile innerhalb des gewählten Planungshorizontes	368
Abb. 6 Der Prozeß einer praxisorientierten Erzeugung entscheidungsabhängiger Wertschöpfungskosten	368
Abb. 7 Charakteristischer Verlauf einer Folge von kumulativen Hausfertigungskostenzuschlägen in Abhängigkeit vom jeweils gewählten Autarkiegrad	368
Abb. 8 Charakteristischer Verlauf einer Folge von kumulativen Bezugskostenkorrekturfaktoren in Abhängigkeit vom jeweils gewählten Autarkiegrad	368
Abb. 9 Charakteristischer U-förmiger Verlauf der entscheidungsabhängigen Gesamtkosten der Wertschöpfung in Abhängigkeit vom jeweils gewählten Autarkiegrad (quadratische Näherung)	368

	Seite
Abb. 10 Der Charakteristische Zeitpfad (k,m.)-spezifischer Anlagenintensitäten	368
Abb. 11 Charakteristische Schar echt zeitflexibler Bezugskostenkorrekturfunktionen	368
Abb. 12 Charakteristische lineare Rekonstruktion des zulässigen (degressiv zunehmenden) Zeitpfades eines produkttechnologiespezifischen Autarkiegrades auf Basis zweier planerischer Freiheitsgrade	368
Abb. 13 Programmablaufplan zum globalen Procedere des Augmented-Lagrangian-Algorithmus nach Pierre-Lowe (vgl. Pierre-Lowe 1975)	368
Abb. 14 Tabellarische Übersicht zu Testergebnissen in APL bezüglich acht ausgewählten Inputdatenkonfigurationen	368
Abb. 15 Tabellarische Übersicht zu Testergebnissen im Fortran-V bezüglich elf ausgewählter Inputdatenkonstellationen	368
Abb. 16 Ein Effizienzvergleich zwischen linearen und quadratischen Verstetigungen einer ausgewählten empirischen (H_{jo}^i)-Konfiguration	368
Abb. 17 Die Darstellung des ursächlichen Zusammenhangs zwischen tatsächlichen (empirisch beobachteten) und prognostizierten (betriebsgewöhnlichen), $\bar{k}$ -spezifischen Anlagenausfallzeiten (Jahre) vermöge der zugehörigen ($X, Y_{\bar{k}}$)-Punktwolke	368
Abb. 18 Der (permanente) Prozeß der Bereitstellung von Inputdatenspektren zur Durchführung optimierter Bezugsartanalysen auf operativer Ebene	368

VORWORT

Systemforschung wirkt "als 'Verstärker' der unternehmerischen Intuition, nicht als ihr Ersatz. Durch Kombination der unternehmerischen Intuition mit den Informationen der Systemforschung ist eine bedeutende Qualitätsverbesserung von Entscheidungen zu erwarten" (vgl. Hannsmann, Einf. S. 122).

Der Gehalt dieser Aussage gewinnt in dem Maße an Bedeutung, je mehr die betrieblichen Entscheidungsträger mit der Festlegung hochaggregierter und weitgehend abstrakter qualitativer und quantitativer Merkmale der Unternehmung betraut sind. In Anbetracht der an Heftigkeit zunehmenden Turbulenzen im sozio-ökonomischen Umfeld des komplexen Gebildes "Unternehmung" verlangt der Praktiker nach effizienten Methoden der Bereitstellung entscheidungsrelevanter Informationen, so daß die Breite der Gräben, die er durch Intuition überspringen muß, auf akzeptable Werte schrumpft.

Die Systemforschung bietet der unternehmerischen Praxis diesbezügliche Hilfestellungen, indem sie systematisch angelegte, quantitative Methoden der operativen und insbesondere strategischen Unternehmensplanung zur Verfügung stellt. Daß dieses Angebot einer zielgerichteten Unterstützung betrieblicher Planungsprozesse nicht nur zur Kenntnis, sondern in aktiver Weise genutzt wird, zeigt das Beispiel eines deutschen Unternehmens der Automobilindustrie.

Hier erhielt der Fachbereich Projekt- und Investitionscontrolling den Auftrag zur Erarbeitung eines langfristigen Systems der simultanen Investitionsplanung, welches den Investitionsausschüssen langfristig valide Rahmenrichtlinien zur Fällung ganzheitlich orientierter Entscheidungen über

die Investitionsanträge einzelner Fertigungsbereiche in die Hand gibt.

Diese Konzeption eines strategischen Planungsmodells wurde in permanenter Abstimmung mit allen beteiligten (Fach-) Stellen des Unternehmens unter Berücksichtigung von Aspekten der Datenverfügbarkeit geschaffen. Dabei konnte man in nicht unerheblichem Maße auf Erfahrungen aus der Kreation eines operativen Modellsystems der simultanen Produktionsprogramm- und Investitionsplanung recumieren, welches im Unternehmen bereits vor Jahresfrist mit großem Erfolg implementiert worden war und gemeinsam mit dem hier nachfolgend zu beschreibenden Modell der strategischen Fertigungs- und Investitionsplanung in ein hierarchisch strukturiertes Planungssystem integriert ist.

Es darf vweggenommen werden, daß diese Planungskonzeption ihre Feuertaufe in Gestalt der Lösung erster praktischer Entscheidungsprobleme mit Bravour bestanden hat. Wir sehen deshalb einen langfristigen, erfolgreichen Einsatz unseres Modellsystems in der betrieblichen Praxis gewährleistet. Darüber hinaus können wir ruhigen Gewissens einen weiteren Vormarsch quantitativer Methoden der Unternehmensplanung in die betriebliche Planungspraxis für die kommenden Jahre prognostizieren. Mit der Implementierung unseres hierarchischen Modellsystems einer systemaren Investitionsplanung wurde hierzu ein weiterer Meilenstein gesetzt.

München, den 28.2.1984

1. EINFÜHRUNG

Der erste Teil der vorliegenden Analyse diene in erster Linie der Einordnung der hier bearbeiteten Themenstellung in den mannigfaltigen Aufgabenkomplex einer modernen strategischen Unternehmensplanung.

Nach einem knappen Aufriß des derzeitigen Entwicklungsstands strategischer Planungsaktivitäten in Theorie und Praxis folge eine Kurzbeschreibung von Prämissen, Zielen und Inhalten der nachfolgend modellierten Planungsaufgabe mit dem Ziele der detaillierten Abgrenzung der Problemstellung.

Ein dritter Abschnitt sei der Formulierung von Operationalitätskriterien für Prozesse der strategischen Investitionsplanung sowie einer vorläufigen Einbettung der vorliegenden Planungsaufgabe in das Gesamtspektrum operationaler strategischer Planungsaktivitäten gewidmet.

In einem vierten und letzten Abschnitt wollen wir uns dann mit der Erläuterung der Eigenschaften eines hierarchisch strukturierten integrativen Konzepts der modellgestützten strategischen und operativen Fertigungs- und Investitionsprogrammplanung befassen, wie es im Rahmen dieser Studie erstmals in der betrieblichen Praxis realisiert wurde.

1.1. Derzeitiger Stand der strategischen Unternehmensplanung in Theorie und Praxis

In Würdigung des atemberaubenden Aufschwungs, den die Planung als Gegenstand betriebswirtschaftlicher Forschungsak-

tivitäten während des vergangenen Jahrzehnts erfahren hat, können wir auf eine kurze Beschreibung der historischen Entwicklung dessen, was wir heute als strategische Planung bezeichnen, nicht verzichten.

In einem zweiten Punkt wollen wir Effizienzkriterien für eine in der heutigen betrieblichen Praxis durchführbare und letztendlich auch erfolgreiche strategische Unternehmensplanung erarbeiten und diese als Leitlinien postulieren, die in jeder Entwicklungsphase des nachfolgend dazuliegenden strategischen Planungskonzepts Beachtung finden müssen. Im Anschluß daran soll mittels einer historischen Würdigung der hierzu in Theorie und Praxis vertretenen divergierenden Auffassungen eine für die Zwecke der vorstehenden Analyse adäquate Abgrenzung von strategischen und operativen Planungsprozessen erfolgen.

1.1.1. Von den Unternehmensrichtlinien des 19. Jahrhunderts zum Strategischen Management des 20. Jahrhunderts: Ein kurzer Abriß der historischen Entwicklung der strategischen Unternehmensplanung

Im Zuge der von betriebswirtschaftlicher Theorie und Praxis gleichermaßen forcierten Entwicklung von Systemen und Methoden der Planung unterliegt eine Beschreibung des diesbezüglichen Status quo trivialerweise keiner dauerhaften Aktualität. Einzige Zwecksetzung der Erstellung einer solchen Momentaufnahme kann demzufolge nur die Ableitung eines unserem "Zeitalter der Diskontinuität" (vgl. Drucker 1969) angemessenen Planungsbegriffes sowie die Offenlegung der momentanen Schwerpunkte planerischer Aktivitäten in Theorie und Praxis sein.

Wir betrachten zunächst die Abb. 1, die in enger Anlehnung an Ansoff (vgl. Ansoff 1976) konzipiert wurde und leiten hieraus folgende problemrelevante Erkenntnisse ab:

1. Die Unternehmens-Richtlinien und -Abläufe des 19. Jahrhunderts bilden den Ausgangspunkt für Entwicklung und Implementierung neuzeitlicher Systeme der taktischen und strategischen Planung von Methoden der Unternehmung im Zeitablauf.

Sie sind auf einen Planungsbegriff gegründet, der lediglich die an Veränderungen des betrieblichen Umfelds orientierte, rollierende Festschreibung von Zuständen und Handlungsweisen vorsieht, die für die Abwicklung des laufenden Geschäfts im Betrieb wünschenswert sind. Anders ausgedrückt: Planung ist ein kurzfristiges Reaktionsprogramm für die Gegenwart.

2. Inhalt und Umfang des zu einem bestimmten Zeitpunkt gültigen Planungsbegriffs sind in signifikanter Weise korreliert mit der jeweils vorherrschenden betrieblichen Organisation sowie allgemeinen Unternehmensstrukturen:
 - a) Mit dem Einzug funktionaler Strukturen in die Unternehmen vollzieht sich die Umwandlung planerischer Aktivitäten von nicht-organisationsspezifischen Reaktionsprogrammen in funktional gegliederte kurzfristige (taktische) Aktionsprogramme für die Zukunft (vgl. Hanssmann 1982).
 - b) Erst der Übergang zu innovativen Unternehmensstrukturen am Anfang der siebziger Jahre dieses Jahrhunderts verhilft langfristig vorausdenkenden Ansätzen der strategischen Planung, die in ihren Grundzügen bereits in den fünfziger Jahren konzeptuiert worden sind, zu einer materiellen Daseinsberechtigung. Nur

wenn die Planung strategischer Merkmale losgelöst von der Enge betrieblicher Funktionalbereiche, mit- hin ganzheitlich erfolgen kann, liegt eine hinrei- chend genaue Untersuchung der zukünftigen Konsequen- zen von Entscheidungen mit langfristiger Wirkungsdau- er im Bereich des Möglichen. Diese Forderung impli- ziert keineswegs die völlige Abkehr von funktional orientierten Organisationsstrukturen, sondern viel- mehr die Ausgestaltung derselben als strategische Spielräume der "Unternehmung", die in Synopsis einer systemaren Betrachtung des Gesamtsystems "Unterneh- mung" zugänglich sind und in Zusammenfassung die Basis einer globalen Unternehmensstrategie bilden.

3. Die im Laufe der Zeit von Theorie und Praxis geborenen teilzielorientierten Planungssysteme und -methoden (z.B. Personalplanung, Investitionsplanung, Budgetierung u.ä.m.) sind nicht etwa von strategischen Planungskonzepten abge- lösten, sondern vielmehr um ebendiese zu einer umfassen- den fristigkeitsorientierten, streng hierarchischen Un- ternehmensgesamtplanung ergänzt worden: Während sich die strategische Unternehmensplanung "mit der Festleung re- lativ unspezifischer, hochaggregierter und abstrakter qualitativer und quantitativer Merkmale der Unternehmung befaßt" (Hanssmann 1982), läßt sich die operative (teil- zielorientierte) Planung auf der zweiten Stufe der Pla- nungshierarchie "definieren als 'Operationalisierung' des strategischen Plans für die nähere Zukunft. ... Der ope- rativ Plan ist also kein unabhängiger Plan für sich, sondern stellt die Konkretisierung der ersten Schritte des strategischen Plans dar" (Hanssmann 1982). Mithin ist die strategische Planung angehalten, den betriebli- chen Entscheidungsträgern Hilfestellungen zur Erhaltung

und Verbesserung der unternehmerischen Flexibilität und Innovationsfähigkeit, die durch wachsende Komplexität und Dynamisierung der Umwelt sowie mit zunehmender Unsicherheit zukünftiger Entwicklungen vor harte Proben gestellt werden, anzubieten.

Zusammenfassend wollen wir nun drei Phasen der historischen Entwicklung strategischer Planungskonzepte in Anlehnung an Kirsch et al. (vgl. Kirsch et al. 1978) unterscheiden:

1. Strategische Planung ist gleichbedeutend mit Aktionsprogrammen zur Ressourcen-Allokation zu sehen, die zu einer bestmöglichen Erfüllung von fest vorgegebenen Ober- und/oder Subzielen einer Organisation führen ("Planung der Mittel"). Der Formulierung von Strategien, welche in diesem bottom-up-approach noch keinesfalls der Erarbeitung von Zielen bzw. der Korrektur bestehender Ziele dienlich sein kann, liegt demnach das Zielmodell der Organisation zugrunde.
2. In der zweiten historischen Entwicklungsphase ist strategische Planung nicht mehr ausschließlich eine Planung der Mittel (Zielerreichungsplanung), sondern vielmehr eine Planung des Wandels (vgl. Kirsch et al. 1978, S. 456). Die Erarbeitung von adaptiven Strategien ("Management of adaptive change") soll das Überleben der bezüglich ihres Umfeldes offenen Organisation (vgl. hierzu Thompson 1967) langfristig sicherstellen.
3. Mit Kirsch et al. (1978) bezeichnen wir die strategische Planung der dritten Generation als "Management of progressive change". Gedankliche Stütze

dieser Sichtweise ist das Modell der innovativen Organisation. Unternehmensziele und -strukturen sind einem ständigen, turbulenten Wandel ausgesetzt, welcher demzufolge als eine Herausforderung an Flexibilität, Innovationsbereitschaft und -fähigkeit des Unternehmens und keinesfalls als notwendiges Übel zu betrachten ist, dem durch eine Politik der kleinen Schritte langfristig begegnet werden könnte. Die geplante Evolution des Unternehmens braucht ein strategisches Management.

1.1.2. Kennzeichen und Ziele einer effizienten strategischen Unternehmensplanung

Was wollen wir unter dem Begriff der Strategie verstehen? Ansoff (1965) definierte Strategie als die Ausgestaltung der Umweltbeziehungen einer Unternehmung, wobei vor allem auf produkt- und marktpolitische Entscheidungen abgestellt wird. In Erweiterung dieser klassischen Sichtweise spricht Hinterhuber (1977) von Strategien als "Maßnahmenkombinationen, in denen die Wege zur Erreichung strategisch relevanter Ziele bestimmt werden".

Beide Definitionen weisen jedoch einen erheblichen Mangel auf, der sie für die Zwecke der hier zu lösenden Aufgabenstellung ungeeignet erscheinen läßt: Sie umfassen auch "manche 'kleinen' Entscheidungen, die kein strategisches Gewicht im anschaulichen Sinne besitzen" (Hanssmann 1982), sondern eher operativen oder auch taktischen Charakter aufweisen.

Im folgenden werden wir demzufolge auf die formale, von

genanntem Mangel freie Definition des Strategiebegriffs von Hanssmann recurrieren. Er versteht unter Strategie die zeitliche Entwicklung der Ausgestaltung der hochaggregierten Merkmale einer Unternehmung (vgl. Hanssmann 1982). "Strategie ist das hochaggregierte Bild einer Unternehmung im Zeitablauf" (Hanssmann 1982), die zeitliche Abfolge von Ausprägungen abstrakter, direkt oder indirekt durch Entscheidungen gestaltbarer Merkmale der Unternehmung. Dabei ist zu beachten, daß strategische Merkmale keineswegs kurzfristig oder unter relativ geringfügigem Ressourceneinsatz gestaltbar sind. Strategische Entscheidungen verfügen demnach über die nachfolgenden formalen Attribute (vgl. Hanssmann 1982): Lange Realisations- und Wirkungszeitspannen, hoher Einsatz von Ressourcen, Irreversibilität in nahezu allen Fällen, weit gestreute Wirkungsbreite innerhalb der Organisation sowie erhöhte Risikobeschaffung von Umweltparametern und Ergebnismerkmalen.

Aus der Definition des Strategiebegriffs nach Hanssmann sowie den formalen Charakteristika strategischer Entscheidungen ist unmittelbar abzuleiten, daß sich eine strategische Unternehmensplanung durch Formulierung geeigneter, hochaggregierter Leitlinien und Maßnahmen mit der Realisierung existenter sowie der Erarbeitung und Konkretisierung neuer bzw. latenter betrieblicher Ober- und ggf. Teilziele zu befassen hat. Die strategische Unternehmensplanung bildet mithin den Gesamtrahmen, in dem jegliche unternehmerische Aktivität unter Aspekten des strategischen Denkens abläuft. Ferner beinhaltet das Konzept der strategischen Unternehmensführung nicht zuletzt einen dynamischen Lernprozeß des geplanten organisatorischen Wandels (vgl. Kirsch et al. 1978).

In Theorie und Praxis hat die Notwendigkeit der Formulierung strategischer Aktionsprogramme für Erhaltung und Erweiterung unternehmerischer Flexibilität und Innovationskraft weitestgehende Akzeptanz gefunden. Man muß indessen feststellen, daß strategische Planung, wie sie heute in den Unternehmungen häufig praktiziert wird, nicht der Weisheit letzter Schluß sein kann, da sie obengenannten Anforderungen nicht oder nur zum Teil entspricht. In diesem Zusammenhange wollen wir mit Hanssmann von offensichtlichen Fehlkonzeptionen der strategischen Planung sprechen und diese nachfolgend in der gebotenen Kürze analysieren (vgl. Hanssmann 1982):

Jedes strategische Aktionsprogramm sollte in einer Entscheidung gipfeln, aus der gesamten Anzahl potentieller Alternativpläne eine ganz bestimmte Handlungsalternative in nachvollziehbarer, also rationaler Weise auszuwählen.

Häufig wird jedoch in Fortführung bzw. Zementierung bisheriger Politiken nur ein einziger, in der Regel umfangreicher Plan erarbeitet. Mit Recht spricht Hanssmann hier von einer Unterschlagung des Entscheidungsproblems (vgl. Hanssmann 1982). Ein weiterer Irrweg, den die unternehmerische Praxis bei der Erarbeitung strategischer Planungskonzepte beschreitet, besteht in der Antizipation des Entscheidungsproblems durch die Favoritenplanung (vgl. Hanssmann 1982): Man zeigt zwar durchaus eine Reihe diverser Alternativstrategien auf, stellt aber, sei es aufgrund persönlicher Interessen oder auch "stilistischer Unternehmensziele" (vgl. Ackoff 1970), nur eine einzige (favorisierte) Handlungsalternative als augenscheinlich beste Lösung des Entscheidungsproblems ins Rampenlicht. Eine andere Version dieser falsch verstandenen Art und Weise, strategisch zu planen, bringt neben dem Favoriten "nur relativ triviale und schwa-

che Konkurrenten in die Analyse ein" (Hanssmann 1982). Man hüte sich deshalb vor der Planung um einer Modeerscheinung willen.

Des weiteren ist der Praktiker häufig nicht in einer Position, Planung und Prognose sauber voneinander zu trennen. Der Grund hierfür ist in der nahezu ausnahmslosen Verwendung deterministischer Umweltprognosen durch die planenden Stellen zu suchen. Im Bewußtsein einer demzufolge mangelhaften Berücksichtigung der Unsicherheit häufiger Umweltzustände im Planungskalkül versucht man daher, die Anforderungen an die Prognosegenauigkeit auf die Spitze zu treiben. Einmal abgesehen von der faktischen Unmöglichkeit sicherer Prognosen liegt der eigentliche Sinn planerischer Aktivitäten keinesfalls in der Beseitigung sondern vielmehr in der ausdrücklichen methodischen Berücksichtigung der Unsicherheitsproblematik. Um mit Simon zu sprechen: "Planung sollte nicht mit Neugier über die Zukunft verwechselt werden" (Simon 1973). Planung muß die Unsicherheit akzeptieren und kalkulierbar machen. Zu diesem Zwecke ist Prognosegenauigkeit nur soweit erforderlich, als sie einen Einfluß auf die Wahl der ersten (robusten (der Verf.)) Entscheidungsschritte hat" (Hanssmann 1982).

Von diesen Überlegungen ausgehend wollen wir nun Kennzeichen und Ziele einer effizienten strategischen Unternehmensplanung formulieren.

Jegliche Planungsaktivität kann dann und nur dann als effizient bezeichnet werden, wenn sie dem Planungszweck genügt. In der Form von wenigen Leitsätzen werfen wir noch einmal die Frage nach dem Zweck der bzw. den hieraus resultierenden Anforderungen an die strategische Unternehmensplanung auf:

Strategische Unternehmensplanung muß den betrieblichen Entscheidungsträgern im Rahmen des strategischen Gesamtplans der Unternehmung eine Reihe von echten, möglicherweise gänzlich verschiedenen Alternativstrategien zur Auswahl stellen. Zugunsten einer expliziten Berücksichtigung der Unsicherheit durch die Erstellung verschiedener Szenarien sollte auf deterministische Planung gänzlich verzichtet werden. Strategische Unternehmensplanung soll auf die Ermittlung, unter Umständen sogar Erfindung robuster erster Schritte gerichtet sein. Es sind die Maßnahmen, die "trotz Unsicherheit der Zukunft langfristig sinnvoll sind" (vgl. Hanssmann 1982), d.h. mit günstigen Resultaten fortsetzbar sind, gleichgültig welches Szenario in der Zukunft noch eintreten mag. So ist der strategische Planungsprozeß mit der Flexibilität ausgestaltet, welche unabdingbare Voraussetzung zur Handhabung immer stärker werdender Umweltdiskontinuitäten ist. Zum Abschluß kann festgehalten werden: Erfüllt die strategische Unternehmensplanung oben dargelegte Anforderungen, so kann man sie als effektiv oder noch besser als effektiv bezüglich der Erarbeitung neuer sowie satisfizierender Erreichung bereits gültiger Unternehmensziele bezeichnen.

1.1.3. Die Abgrenzung von strategischen und operativen Planungsprozessen nach dem Leitbild der stufenweisen Konkretisierung planerischer Aktivitäten

"Planung ist eine zweckgerichtete menschliche Tätigkeit. Sie scheint einem eigentümlichen psychologischen Schema zu folgen, bei dem der menschliche Geist eine stufenweise Konkretisierung des Plans vornimmt. Durch diesen Prozeß arbeitet er sich allmählich zur 'Aktionsebene' herunter" (Hanssmann 1982).

Zur Untermauerung dieser These wählt Hanssmann das Beispiel eines Schulabgängers, der seine berufliche Ausbildung zu planen gedenkt (vgl. Hanssmann 1982). Sobald eine Entscheidung zugunsten eines bestimmten Ausbildungsganges aus einer Menge potentiell zur Debatte stehender Berufe gefallen ist, hat auf der nächstniedrigeren Planungsstufe ein Vergleich der ausbildenden Institutionen und/oder Firmen stattzufinden. Erst nachdem unser Kandidat unter diesen seine Wahl getroffen hat, ist er in der Lage, einen detaillierten Plan (z.B. Stundenplan) anzufertigen, der seine routinemäßigen wöchentlichen oder täglichen Aufgaben koordiniert. Wir nutzen die Quintessenz dieses Beispiels zur Abgrenzung strategischer Planungsprozesse von Aktivitäten der operativen Planung:

Während die Entscheidung für eine bestimmte Fachausbildung das Produkt eines strategischen Planungskalküls repräsentiert, ist die Erstellung des täglichen Arbeits- respektive Stundenplans das Ergebnis operativer Planungsaktivitäten.

Der operative Plan hat demnach die Aufgabe, den zuvor gezeichneten, weit gefaßten und daher abstrakten strategischen Rahmen mit "Leben" zu erfüllen, d.h. mit spezifischen, detailliert gehaltenen Aktionen auszustatten.

Wir können dieses in seiner Einfachheit bestehende Verhaltensmuster, welches menschliche Planungstätigkeit als "Konkretisierungsprozeß vom Unspezifischen zum Spezifischen" identifiziert (vgl. Hanssmann 1982), ohne große Umschweife auf die Unternehmensplanung übertragen. Zu diesem Zwecke rufen wir uns nochmals die im vorhergehenden Abschnitt präsentierte Definition einer effizienten strategischen Unternehmensplanung ins Gedächtnis zurück und formulieren als

Gegenstück zu diesen Ausführungen Inhalte und Zielsetzungen der operativen Unternehmensplanung:

Operative Unternehmensplanung sollte in Ausgestaltung der robusten ersten Schritte des strategischen Plans für die nähere Zukunft konkrete (kommunizierbare), mehr oder weniger spezifische Aktionsprogramme produzieren.

Diese Aktionsprogramme sind beim Verfügbarwerden weiterer Informationen zu revidieren bzw. in möglichst kurzen, regelmäßigen Abständen zu überprüfen. Selbstverständlich ist dies nur im Rahmen der Vorgabe des strategischen Plans, der dem operativen Aktionsprogramm zugrundeliegenden strategischen Entscheidungen möglich. Gestatten letztere bei Veränderungen der Umweltbedingungen einen Richtungswechsel, so ist dieser auf der Ebene der operativen Planung unverzüglich herbeizuführen. Mit anderen Worten:

Bereits getroffene operative (und taktische) Entscheidungen sind regelmäßig, bei stark unsicherer Entwicklung der Umweltbedingungen permanent bezüglich ihres Zielerreichungsgrades zu überprüfen. Das zu realisierende betriebliche Teilziel muß vom strategischen "Oberbau" her mit ausreichender Flexibilität, d.h. mit der Chance zur Adaption an veränderte Umweltgegebenheiten ausgerüstet sein und in Gleichklang mit dem (den) betrieblichen Oberziel(en) stehen. Bei notwendig werdender Revision taktischer und insbesondere strategischer Entscheidungen der operativen Unternehmensplanung (wir sprechen hier mit Hanssmann von einer "zweiten strategischen Ebene" (vgl. Hanssmann 1982)) ist die Gesamtheit aller im operativen Sinne relevanten Entscheidungs- und Ergebnismerkmale mit in das Kalkül einzubeziehen. Wird dies unterlassen, wird der in diesem Zusammenhang zu stellenden Forderung nach strikter Beachtung des Systemstandpunktes nicht Rechnung getragen.

Zum Abschluß dieser Thematik darf zusammenfassend festgehalten werden:

Selbstverständlich existieren in der relevanten betriebswirtschaftlichen Fachliteratur eine Vielzahl weiterer, zum Teil divergierender und von der hier präferierten Version abweichender Vorschläge zur Abgrenzung von strategischen und operativen Planungsprozessen. Repräsentativ für die Formulierungen sei an dieser Stelle noch der Abgrenzungsversuch von Kirsch aufgegriffen, der in hemdsärmeliger, aber treffend-knappler Manier bemerkt:

"Während sich die operative Planung mit der Frage beschäftigt, wie das Holz richtig zu hacken sei, muß sich die strategische Planung mit dem Problem der Bestimmung des richtigen Holzes auseinandersetzen" (vgl. W. Kirsch).

Diese Art der Abgrenzung beider Planungskomplexe steht zwar nicht im Widerspruch zu der in dieser Analyse verwendeten Formulierung nach Hanssmann, ist aber letzterer hinsichtlich des für die Zwecke der hier abzuhandelnden Problematik erwünschten Grades an Operationalität unterlegen.

1.2. Darlegung der Inhalte und Prämissen der vorstehenden Analyse zur exakten Abgrenzung der Problemstellung

In einem ersten Abschnitt wollen wir uns hier sowohl in allgemeiner Weise als auch konkret auf unser praktisches Problem bezogen mit der Rolle quantitativer Systemmodelle bei der Auffindung optimaler Aktionsprogramme der Ressourcen- und Investitionspolitik befassen. Im Anschluß an diese Ausführungen sind dann Art und Umfang des Einflusses produktpolitischer Zielsetzungen auf die Effizienz akquisitions- und investitionspolitischer Entscheidungen einer eingehenden Prüfung zu unterziehen. Wir werden in diesem

Zusammenhänge eine ganzheitliche Sichtweise des Wirkungszusammenhangs strategischer Variabler postulieren.

Sodann werden wir einige Leitlinien zur Sicherstellung bzw. Steigerung der Wirksamkeit (Wirtschaftlichkeit) von Investitionsmittelallokationen durch Aktivitäten der strategischen Planung formulieren, bevor in einem vierten und letzten Abschnitt eine Zusammenfassung aller wesentlichen Aussagen dieses Kapitels gegeben werden soll.

1.2.1. Quantitative Systemmodelle im Dienste der Ermittlung optimaler Ressourcen- und Investitionsstrategien

Jegliche wissenschaftliche und auch praktische Arbeit hat mit einer ersten verbalen Umschreibung des zur Lösung anstehenden Problems ihren Anfang zu nehmen. Wertvolle Anhaltspunkte hierzu lassen sich, wie auch in unserem Falle, bereits den Gründen entnehmen, weswegen eine entsprechende Studie überhaupt initiiert wurde:

Die Entscheidungsträger des Unternehmensbereiches Finanz- und Investitionscontrolling sind unzufrieden mit der bisherigen, ungenügend koordinierten, d.h. an kurzfristigen Engpässen sowie am Einzelfall orientierten Entscheidungspraxis der Investitionsausschüsse und Bezugsartanalytiker. Zukünftig will man von folgender Devise ausgehen: Weg von der kaum anhand ganzheitlicher Ziele der Unternehmung ausgerichteten Praxis der Bewilligung von Investitionsanträgen, hin zur simultanen, alle Fertigungszentren der Firma gleichermaßen involvierenden Fertigungs- und Investitionsprogrammplanung.

Bevor wir jedoch erste Schritte zur Realisierung dieser

anspruchsvollen Zielsetzung tun können, bedarf es der detaillierten Erörterung der zu lösenden Problemstellung, wozu längere, intensive Gespräche mit verantwortlichen Entscheidungsträgern aller Fertigungsbereiche vonnöten waren. Letztendlich einigte man sich auf nachfolgende Diagnose der zu beseitigenden Mißstände sowie Empfehlungen zu deren Heilung:

"Wie das Beispiel der in der Produkttechnologie führenden deutschen Automobilhersteller sowie der in der Prozeßtechnologie an erster Stelle stehenden japanischen Automobilindustrie ganz deutlich aufzeigt, ist die Beherrschung von Produkt- und/oder Prozeßtechnologien unabdingbare Voraussetzung für die erfolgreiche Realisation auch langfristig aussichtsreicher Produkt-Markt-Strategien. In Anbetracht der breiten Vielfalt der beteiligten Technologien (z.B. Motorenbau, Karosseriebau, Kunststoffteilefertigung, Elektronik u.ä.m.) kann kein Unternehmen in der Lage sein, all diese Disziplinen sowohl in technischer als auch wirtschaftlicher Hinsicht zu beherrschen. Daraus resultiert die Notwendigkeit, Schwerpunkte in der Entwicklung von Produkt- und Prozeßtechnologie zu setzen und einen erheblichen Teil der Komponenten von Zulieferfirmen mit entsprechend spezialisiertem Know-how zu beziehen. Dabei werden selbstverständlich (vertikal) im Gesamtkonzern integrierte Partner den Vorzug erhalten.

Prozeßwirtschaftlichkeit und Produktqualität sowie der Wunsch der Kunden nach immer ausgereifteren und zuverlässigeren Technologien erfordern somit eine Fertigungsprogramm- und Zukaufsplanung, die internen technologischen Stärken und Schwächen sowie der externen Verfügbarkeit spezialisierten Know-hows und kostengünstiger Bezugsquellen explizit Rechnung trägt."

Es gilt nun eine im Sinne der bestmöglichen Erfüllung der strategischen Oberziele der Unternehmung optimale Ressourcenstrategie zu entwickeln, welche klare Antworten auf nachfolgende Fragestellung erteilt:

Inwieweit bzw. in welchem Ausmaße sind (ggf. verbundene) Unternehmungen der Zulieferindustrie im Verlaufe des Planungshorizontes (erste Ansätze gehen von 6 Jahren aus) mit der Erbringung betrieblicher Leistungen zu betrauen? Präziser formuliert: Wie soll sich in den einzelnen betriebsinternen Konstruktionsgruppen (kurz: Kogruppen - wir subsumieren hierunter von der angewandten Technologie her völlig disjunkte Fertigungsbereiche des Unternehmens, wie etwa Motorenbau, Karosseriebau, etc.) der Autarkiegrad über die Zeit hin entwickeln?

Selbstverständlich läßt sich eine solche Fragestellung nur dann hinreichend exakt bewältigen wenn alle entscheidungsrelevanten Umweltparameter wie etwa allgemeine Preistrends für fremdbezogene Leistungen, die Entwicklung der internen Fertigungskosten oder auch auf technischen Fortschritt rekurrierbare Steigerungen der kogruppenspezifischen Produktivitäten über die Zeit in gebührender Weise Berücksichtigung finden.

In enger materieller Verknüpfung mit der zu wählenden Ressourcenpolitik, die man etwas anschaulicher auch als Wertschöpfungsquellenpolitik bezeichnen könnte, wollen wir den strategischen Spielraum der Investitionspolitik sehen: Die Planung der in den einzelnen Hauptkostenstellen (Bereichen) bereitzuhaltenden Produktionskapazitäten muß stets in Abstimmung mit den für die Kogruppen potentiell wählbaren Ressourcenstrategien erfolgen, um der Forderung nach einer synoptischen (systemaren) Betrachtungsweise Genüge zu tun.

Streng genommen stellt der Bezug von Fremdleistungen nichts anderes dar als einen Verzicht auf Ersatz-, Rationalisierungs- oder auch Erweiterungsinvestitionen, der aus ganz unterschiedlichen Motiven herrühren mag, letztendlich aber doch Kostenerwägungen entspringt:

Um beispielsweise den Technologievorsprung eines auf eine ganz bestimmte Leistung spezialisierten Zulieferers zu egalisieren, bedarf es nicht nur der Bereitstellung von Investitionsmitteln etwa für zusätzlich zu installierende Anlagen, sondern auch für den Erwerb des entsprechenden Know-hows (Erwerb von Patenten oder Lizenzen, Einstellung hochqualifizierten Personals). Dies kann, vor allem auch langfristig betrachtet, sehr viel teurer sein als der Bezug der fraglichen Leistung von einem zuverlässigen und in seiner Preispolitik gut einschätzbaren (bzw. ggf. aufgrund entsprechender Beteiligungskonstellationen beeinflussbaren) Zulieferer. In diesem Zusammenhange gilt es auch die langfristige Absatzentwicklung der verschiedenen Modellreihen und deren Unsicherheit zu beachten, die eine Verminderung des Fehlinvestitionsrisikos durch erhöhten Fremdbezug als "Kapazitätspuffer" attraktiv erscheinen lassen kann.

Wir wollen mithin den zeitlichen Entwicklungspfad der für die einzelnen Kogruppen anzustrebenden Fremdbzugsanteile ermitteln und planerisch unter Kontrolle halten. Uno actu sind wir dann in der Position, genaue Aussagen zu machen über das Ausmaß der für die jeweiligen Hauptkostenstellen zu bewilligenden Investitionsbudgets. Die Höhe der in einzelnen Fertigungszentren zu tätigenen Anlageinvestitionen ist demnach untrennbar verknüpft mit der realiter (d.h. nach Abzug des Fremdleistungsanteils) in der jeweiligen Kogruppe zu erbringenden Leistung (wertschöpfungsorientierte Betrachtungsweise).

Letztendlich müssen unsere Bemühungen dann gipfeln in der Entwicklung eines (quantitativen) Modells zur strategischen Planung und Kontrolle der zeitlichen Evolution

- der in den einzelnen Kogruppen zu realisierenden Autarkiegrade (Ressourcenstrategie) sowie
 - des zur Abdeckung interaktiv geplanten Produktions-
solls an Fahrzeugen notwendigen Fertigungskapazitäten
in den Hauptkostenstellen (Investitionsstrategie)
- bis zu einem zukünftigen, aber exakt definierten Zeitpunkt (Ende des Planungshorizonts).

Die Modellstruktur muß dabei so geartet sein, daß eine simultane (synoptische) Betrachtung aller relevanten production-centers in einem einzigen Ansatz möglich ist. Nur dann sind wir in der Lage, sämtliche Konsequenzen fertigungsspezifischer Interdependenzen in ihrem Beitrag zum betrieblichen Gesamtnutzen bzw. Zielerreichungsgrad zu messen.

Ein solcherart gestalteter Modellansatz setzt indes die Findung eines (skalaren) gemeinsamen Nutzenmaßes für die Gesamtheit der hier zu betrachtenden heterogenen betrieblichen Leistungen voraus. Wir werden zu diesem Zwecke zurückgreifen auf das bewährte Konzept der in Geldeinheiten bewerteten Verzehrsmengen von Kostengütern als kausalem Ausfluß der betrieblichen Leistungs- bzw. Wertschöpfungserstellung (hierzu mehr in Kapitel 1.3.).

Wir wollen nun vorläufig darauf verzichten, die Ansprüche an das noch in allen Einzelheiten zu beschreibende Modellsystem a priori noch weiter in die Höhe zu schrauben. Die Informationen und damit letztendlich Entscheidungshilfen, die ein solches Instrument quantitativer betrieblicher Planung zu liefern vermag, sind gemäß einer uralten Weis-

heit stets nur so vertrauenswürdig wie das dort verarbeitete Inputdatenmaterial ("garbage in, garbage out"), welches (halbwegs) realistische Werte für alle zum Ansatz gebrachten ziel- und handlungsrelevanten Umweltparameter bereitstellen sollte. Gefahren für die Qualität modellgestützt gewonnener Entscheidungshilfen lauern überdies in der Tatsache, daß man oft nicht alle entscheidungsrelevanten Umweltfaktoren als solche identifizieren kann.

Kurzum: (Modellgestützte) Planung hilft nicht zwingenderweise Irrtümer vermeiden. Diese Feststellung leugnet indes keineswegs deren Sinn bzw. Existenzberechtigung, denn: Immerhin vermag die Planung nämlich den Zufall durch das kleinere Übel des einkalkulierten Irrtums zu ersetzen. Aus letzterer Species kann der Entscheidungsträger jedoch Lehren ziehen. Zur Erläuterung:

Bei der bisher im Unternehmen üblichen Entscheidungspraxis wurden Bewilligungsanträge für (teilweise recht kostenintensive) Anlageninvestitionen in bestimmten Kostenstellenbereichen in der Regel schon dann positiv (negativ) entschieden, wenn eine solche Maßnahme allein aus bereichsspezifischen Gründen heraus (nicht) erforderlich und auch aufgrund kaufmännischer Überlegungen (wenig) sinnvoll erschien. Die Frage nach globalen Wirkungszusammenhängen einzelner Investitionsentscheidungen und deren Konsequenzen für eine bestmögliche Erfüllung strategischer (Ober-) Ziele vor allem im Bereiche der Ressourcen- (Akquisitions-) und Investitionspolitik wurde erst gar nicht gestellt und ergo dem freien Spiel der Kräfte überlassen. Dies ist umso bedauerlicher, wenn man sich vor Augen führt, daß strategische (Investitions-)Entscheidungen mit ihren formaltypischen Eigenschaften wie langer Wirkungsdauer, praktischer Irreversibilität sowie mit Risiko behafteten, hohem Res-

sourceneinsatz das Wohl und Wehe für einen ganzen Konzern bedeuten können. Die hier aufgezeigten Zusammenhänge blieben schließlich auch den Verantwortlichen des hier betrachteten Unternehmens nicht verborgen. Man wünscht eine langfristig sinnvolle Koordination der Entscheidungspraxis in den Bereichen der Ressourcen- und Investitionsplanung via modellgestützter strategischer Planungskonzepte. Das hier vorliegende quantitative Modellsystem erscheint allen Beteiligten mehr als nur ein Schritt in die richtige Richtung.

1.2.2. Der Einfluß produktpolitischer Zielsetzungen auf die Effizienz der Akquisitions- und Investitionspolitik

Im Bereich der strategischen Unternehmensplanung können wir die Akquisitions- und Investitionspolitik durchaus als Ausfluß der Produkt-Markt-Politik betrachten. Abb. 2, die logische Abfolge strategischer Variabler der Unternehmung in Anlehnung an (Hanssmann 1982) wiedergebend, legt hiervon deutliches Zeugnis ab.

Eine der wesentlichsten Aufgaben der Produkt-Markt-Politik besteht darin, festzulegen, wie, d.h. in welcher Richtung sich die Produktionskapazitäten global und zum Teil auch speziell in bestimmten Unternehmensbereichen und Fertigungszentren ((Haupt-)Kostenstellen) zu entwickeln haben, um die Maßnahmen der Produkt-Markt-Politik in vorgesehenem Umfange in die Tat umsetzen zu können. Mit anderen Worten: Keine erfolgsversprechende Investitionspolitik ohne Berücksichtigung der produktpolitischen Ziele! Und ohne Investitionspolitik mit Augenmaß keine sinnvolle Akquisitionspolitik!

Zugegeben, die Investitionspolitik verfügt selbstverständlich über eine Reihe von technischen (Auswahl der Produktionstechnologie), geographischen (Standortwahl) und auch insbesondere zeitlichen Freiheitsgraden. Sie kann jedoch niemals bezüglich der Erreichung des (der) betrieblichen Gesamtziele(s) vernünftige Ergebnisse zeitigen, wenn nicht auf der Basis der bzw. in Kongruenz mit der Produkt-Markt-Strategie sowie natürlich auch den akquisitionspolitischen Zielen (über die der vorhergehende Abschnitt konkrete Aussagen machte) geplant wird.

Umgehend muß selbstverständlich auch eine Rückkoppelung von der Investitions- und Akquisitionspolitik zur Produkt-Markt-Politik hin stattfinden, um etwa "überzogene" produktpolitische Maßnahmen strategischer Art in aus der Sicht der Investitions- und Akquisitionspolitik erträgliche, vertretbare Schranken zu verweisen:

Keine erfolgreich realisierbare Produkt-Markt-Politik mit langfristig sinnvollen Ergebnissen ohne Zugrundelegung einer maßvollen Akquisitions- und Investitionspolitik.

An dieser Stelle erscheint es also erneut ratsam, die Forderung nach der Verwirklichung des Systemstandpunkts zu erheben:

Wir wollen die planerische Ausgestaltung der strategischen Spielräume "Produkt-Markt-Politik", "Akquisitionspolitik" sowie "Investitionspolitik" stets Hand in Hand erfolgen lassen, systemar anlegen, ohne dabei losgelöst von allen übrigen strategischen Teilplänen (vgl. hierzu Abb. 2) zu prozedieren. Das Ziel unserer Tätigkeit besteht in der Einbettung aller vorliegenden Teilpläne in das umfassende System einer interdependenzsensitiven Gesamtplanung. Das hier vorliegende Konzept biete erste Denkanstöße zu dessen Realisation.

Äquivalente Gedankengänge lassen sich freilich auch für den Bereich der operativen Unternehmensplanung entwickeln. Wir werden hierzu bereits an dieser Stelle einige Anmerkungen lancieren, um im weiteren Verlauf dieser Analyse die Konzeption eines hierarchisch-integrativen Systems der strategischen und operativen Planung einleitend vorzustellen (siehe Kapitel 1.4.). Wir wissen, daß sich die operative Produktionsprogramm- und Investitionsplanung zu einem wesentlichen Teil

mit der Frage befaßt, welche Vorprodukte (Einzelteile) aus einem bestimmten, fest umrissenen Teilespektrum eines Fertigungsbereichs (bzw. einer Kostenstelle)

im Haus erstellt bzw.

in den Fremdbezug verwiesen werden sollten, um die gesamten, in diesem Fertigungszentrum diesbezüglich anfallenden Kosten der Leistungserstellung zu minimieren, sowie

uno actu mit der Belegung von im Hause momentan verfügbaren Kapazitäten mit den in eigener Regie zu fertigenden Produkten zu beschäftigen hat.

("Produktionsvollzugsplanung").

Damit vermag sie wertvolle Hinweise auf (teure) Leerkapazitäten und unter Umständen nicht minder teure Kapazitätsengpässe (entgangene Erträge oder auch eben durch Fehlkapazitäten erzwungenes Ausweichen auf weniger kostengünstige externe Bezugsquellen) zu liefern, Hinweise, die seitens der operativen Investitionsausschüsse ständig verarbeitet werden müssen. Hieraus resultierende (kurz- und/oder mittelfristige Kapazitätsanpassungen fixieren dann wieder den Rahmen für die Erstellung künftiger Arbeitspläne sowie die Lozierung der Kapazitäten durch Aktivitäten der operativen Produktionsprogrammplanung.

Das Fazit:

Keine fundierte (operative) Kapazitätsplanung ohne simultane Interaktion mit der Produktionsprogrammplanung et vice versa. Ebenso unabdingbar wie eine Koordination der durch den strategischen Plan vorgegebenen robusten ersten Schritte ist eine korrespondierende, simultane Abstimmung der Feinplanung im operativen Bereich der Produktions- und Investitionsplanung.

Die geschilderte Bedeutung einer simultanen Produktionsprogramm- und Kapazitätsplanung im operativen Bereich wurde, im Gegensatz zur Effektivität, mit der eine systemar angelegte modellgestützte Betrachtung strategischer Spielräume zur gesteigerten Wohlfahrt des Gesamtunternehmens beitragen kann, in unserer Firma bereits vor Jahresfrist erkannt.

Man entwickelte und implementierte ein EDV-gestütztes Modellsystem zur kurzfristigen (einjähriger Planungshorizont!), interaktiven (simultanen) Produktionsprogrammplanung mit modellendogen gestalteter Kapazitätsdimensionierung im weiter oben definierten Sinne. Bereits heute erntet man die Früchte dieses quantitativen Systems der operativen Unternehmensplanung. In logischer Verknüpfung mit dem hier darzulegenden Konzept eines strategischen Modells der Fertigungsprogramm- und Investitionsplanung ist in unserem Unternehmen nunmehr ein in sich konsistentes, modellgestütztes System der quantitativen Produktions-, Akquisitions- und Investitionsplanung entstanden.

1.2.3. Leitlinien für eine wirksame (optimale) Investitions- mittelallokation durch Aktivitäten der strategischen Planung

Zunächst rufen wir uns noch einmal unsere im Abschnitt 1.2.1. detailliert erörterte Problemstellung in knappen Worten ins Gedächtnis zurück. Wir sprachen von der Erarbeitung einer Fertigungsprogramm- und Zukaufsplanung, welche den betriebsinternen technologischen und auch kostenmäßigen Stärken und Schwächen einerseits sowie der (jederzeitigen) externen Verfügbarkeit spezialisierter Technologiepotentiale und daher u.U. mit Kostenvorsprüngen ausgestatteter Bezugsquellen Rechnung trägt. Im Sinne einer bestmöglichen Erreichung der strategischen Oberziele "Prozeßwirtschaftlichkeit" und "Produktqualität" erscheint die Realisation eines solchen Aktionsprogrammes als einzig erfolgreiche und somit erstrebenswerte planerische Maßnahme.

Wir betonen des weiteren, daß Entscheidungen über den Zeitpfad des in einzelnen Kogruppen zu realisierenden Autarkiegrades ganz offensichtlich erhebliche Auswirkungen auf Höhe und Verteilung der Investitionsmittel im Fertigungsbereich hat. Aus diesem Grunde forderten wir eine langfristige, simultane Grobplanung

- des Investitionsbudgets für alle Hauptkostenstellen einerseits sowie
- der in den jeweiligen Kogruppen anzustrebenden Fremdbezugsanteile. Angesichts des jährlichen Investitionsvolumens wird die strategische Dimension dieses Entscheidungskomplexes offenkundig.

Wir werden deshalb nachfolgend einige übergreifende Maximen zur Sicherstellung respektive Verbesserung der globalen Wirksamkeit von Investitionsmittelallokationen formulieren.

Hierbei ist von folgenden Überlegungen auszugehen:

Die einzelnen Fertigungsbereiche (Hauptkostenstellen) stehen untereinander in scharfer Konkurrenz um in der Regel knapp bemessene Investitionsmittel. Somit stehen die Investitionsausschüsse des Unternehmens in schöner Regelmäßigkeit vor der Problematik einer

- sowohl den individuellen Belangen einzelner Hauptkostenstellen
 - als auch den globalen strategischen Erfordernissen einer ganzheitlich ausgewogenen Investitionspolitik
- Rechnung tragenden Allokation von Kapitalien für Zwecke der Investition in Betriebsmittel, wozu maschinelle Anlagen sowie Sonderbetriebsmittel (z.B. Spezialwerkzeuge) zu rechnen sind. Nach unserem Dafürhalten kann diesem Dilemma einzig und allein durch eine ganzheitliche, mithin systemare Planung der Allokation von Investitionsmitteln, die in ihren Grundzügen adaptionsfähig sein muß, Abhilfe geschaffen werden. Ein solches Planungskonzept verlangt nach der Einbeziehung sämtlicher entscheidungsrelevanter Tatbestände in den Allokationskalkül, seien diese nun direkt, möglicherweise lediglich indirekt oder auch überhaupt nicht gestaltbar. Wird dies unterlassen, kann man entsprechende Planungsaktivitäten als ineffizient bezüglich einer satisfizierenden Erreichung des strategischen Oberziels einer im ganzheitlichen Sinne optimalen Investitionsmittelallokation abqualifizieren. Wir postulieren nun im weiteren folgende Leitlinien bzw. Verhaltensmaßregeln mit Empfehlungscharakter, die bei strategischen Entscheidungen der Allokation von Investitionsmitteln unseres Erachtens unbedingt zu beachten sind:

Es sind Informationen bereitzustellen respektive in Zusammenarbeit mit betroffenen Verantwortlichen zu erarbeiten bezüglich einer langfristig sinnvollen Schwerpunktsetzung bei der Entwicklung der Autarkie-

grade für einzelne Kogruppen zur langfristig bestmöglichen Nutzung externer Kostenvorteile. Hieraus sind ggf. Maßnahmen für eine optimale Gestaltung künftiger Beteiligungs- und/oder Fusionierungsstrategien ableitbar.

Unter Berücksichtigung der langfristigen Absatzentwicklung der verschiedenen Modellreihen sind anschließend die zeitlichen Soll-Entwicklungspfade der Fertigungskapazitäten in den diversen Hauptkostenstellen abzustechen. Dies erfordert natürlich genaueste Informationen über die fertigungsbetriebsmäßige Verteilung der im Hause verbleibenden kogruppenspezifischen Wertschöpfungsbeträge.

Weiteres informiere man sich über die momentane Ausstattung der Fertigungsbereiche mit entsprechenden Betriebsmitteln, formuliere (möglichst kausale) Hypothesen über Ausfallzeiten und Restlebensdauer (jeweils Durchschnittswerte) bestimmter Aggregattypen und berücksichtige den wahrscheinlichen Kapazitätseffekt von zur Stunde bereits getroffenen, politisch motivierten Rationalisierungsinvestitionsentscheidungen, deren Durchführung als sicher bzw. nicht beeinflussbar gilt (z.B. Personalabbau durch verstärkten Einsatz von Fertigungsautomaten).

Schließlich sollte der Planungskalkül gegenüber fertigungsbereichsspezifischen, meist technologiebedingten Besonderheiten, die in der Regel als unbeeinflussbar gelten (z.B. erhöhte Flexibilität der Investitionsbudgets für die Bereitstellung elektronischer Fahrzeugelemente, die einem rasanten technischen Fortschritt unterliegen), offen sein. In diesem Zusammenhange verdient auch die Berücksichtigung erzwungenen technischen Fortschritts durch die Konkurrenz unser erhöhtes Augenmerk.

Ist man nun unter Rückgriff auf die Systemforschung in der Lage, zwischen den genannten Entscheidungsmerkmalen, die ein Spiegelbild der entscheidungsrelevanten Realität darstellen, kausale, quantitative Beziehungen oder Gesetze herzustellen, sowie alle in parametrischer Form zu berücksichtigenden Größen mit hinreichend realitätsgetreuen Werten zu belegen, so kann das Ziel der Offenlegung effektiver Möglichkeiten der Allokation von Investitionsmitteln als erreicht betrachtet werden. Es bleibt dem Entscheidungsträger überlassen, unter Berücksichtigung mehrerer sinnvoller Alternativen der langfristigen Zukaufspolitik, die eine oder andere Allokation zu präferieren. Ebenso betrachten wir es als ureigenste Aufgabe der Verantwortlichen selbst, die entscheidungsrelevanten Konsequenzen von Tatbeständen, die einer Quantifizierung nicht zugänglich sind (wir sprechen in diesem Zusammenhange von Imponderabilien), in geeigneter Weise zu taxieren.

Selbstverständlich wollen wir an dieser Stelle auch hinweisen auf die Problematik der Finanzierbarkeit der geplanten Investitionsvolumina, von der die Flexibilität und Höhe eventuell einzukalkulierender Toleranzschwellen der fertigungsbereichsspezifischen Investitionsbudgets in entscheidendem Maße abhängen. Freilich soll uns der Hinweis hierauf völlig genügen. Die Erörterung dieser Problemstellung sei einer weiteren Dissertation vorbehalten.

1.2.4. Zusammenfassung und Ausblick

Wir betreiben (modellgestützte) strategische Unternehmensplanung und haben uns in diesem Rahmen mit strategischen Merkmalen und korrespondierenden Entscheidungsprozessen zu befassen, für welche praktische, in den Investitions-

ausschüssen des Unternehmens problemlos kommunizierbare Entscheidungshilfen zu entwickeln sind.

Wir wollen (operationale) Vorschläge unterbreiten zur systemaren Investitionsplanung auf der Basis intern wertschöpfungsorientierter Investitionsmittelallokationen. Die Betonung liege dabei auf dem Begriff "systemar", weil die herkömmliche, nicht am Systemstandpunkt ausgerichtete Sukzessivplanung im Zuge der wachsenden Komplexität und Dynamik technischer und ökonomischer Relationen nicht mehr in der Position scheint, die Probleme der Planungspraxis in einer befriedigenden Weise einer Lösung zuzuführen. Der Begriff der Internwertschöpfung bringe in diesem Zusammenhang zum Ausdruck, daß sich die Höhe der einem bestimmten Fertigungsbereich zuzuführenden Investitionsmittel streng am Werte der tatsächlich hier zu erbringenden betrieblichen Leistung zu orientieren hat. Bei ggf. notwendig werdenden Revisionen bereits getroffener Ressourcenbereitstellungs- (Akquisitions-) und Investitionsentscheidungen des strategischen Bereichs (evtl. aufgrund eines mangelhaften Zielerreichungsgrades der Maßnahme) ist mithin grundsätzlich das gesamte Wertschöpfungsspektrum der betrachteten Unternehmung sowie alle zum Zeitpunkt der Entscheidungskontrolle verfügbaren Wertschöpfungsquellen mit in eine neuerliche Entscheidung einzubeziehen. Unterläßt man dies, wird, wie bereits betont, der Forderung nach strikter Beachtung des Systemstandpunkts, welcher untrennbar mit dem Procedere der Simultanplanung verbunden ist, nicht Rechnung getragen.

Wir werden den strategischen Planungsprozeß durch den Einsatz eines quantitativen Entscheidungsmodells unterstützen. Die Gründe hierfür liegen auf der Hand:

- Ein Modell ist zunächst einmal nichts weiter als eine mehr oder minder detaillierte Formulierung der Beziehungen und Gesetze, denen ein reales System unterliegt. Es vermag trotz Umwelt wertvolle Einblicke in die Konsequenzen von Eingriffen in besagtes System (durch (strategische) Entscheidungen) zu geben, wobei die resultierenden Ergebnisse (Ergebnismerkmale) selbstverständlich nur im Lichte des jeweils gewählten Szenarios interpretationsfähig sind.
Die Modellierung ist mithin als Kernstück, als, um es salopp auszudrücken, das Salz in der Suppe der Planung zu bezeichnen, die ihrerseits (ex definitione) durch die Festschreibung von zukünftig zu ergreifenden Maßnahmen in reale Systemabläufe eingreift.
- Realwertschöpfungsorientierte, systemare Investitionsplanung sollte die erfolgsmäßigen Auswirkungen der potentiell durchführbaren Investitions- (mittelallokations-)programme klar erkenntlich machen und die entscheidungsvorbereitenden Instanzen befähigen, den Entscheidungsträgern selbst ein erfolgsmäßig bestes (optimales) Investitionsprogramm zur Option zu stellen.
- Wir wissen indes, daß es eine unüberschaubare Vielzahl möglicher Investitionsprogramme gibt und somit das optimale Gesamtpaket, als ein Element aus der Menge aller initiiierbaren Programme, mit Sicherheit einer manuellen Ermittlung unzugänglich ist. Die zur Bestimmung dieses Programms erforderlichen mathematischen Methoden sind äußerst rechenintensiv und machen eine EDV-Unterstützung der Investitionsplanung unerlässlich.
- Andererseits bereitet die EDV-technische Umsetzung eines meist in der Initialfassung vermöge mathematischer Symbole formulierten Modellsystems keine besonderen

Schwierigkeiten. Im Gegenteil: Symbolische Modelle sind geradezu prädestiniert für den Einsatz des modernen Hilfsmittels EDV. Probleme, die bei der Auswertung großer Systeme (large-scale-problems) mit schöner Regelmäßigkeit wiederkehren, resultieren eher weniger aus mangelnder Leistungsfähigkeit der Computersysteme als aus der mangelnden Verfügbarkeit intelligenter mathematischer Problemlösungsmechanismen.

1.3. Operationale strategische Planungsprozesse der Akquisitions- und Investitionspolitik

Wir wollen uns in diesem Kapitel der vorstehenden Analyse zunächst einmal mit der Erarbeitung von Operationalitätskriterien befassen, die als Leitlinien zur Strukturierung und praktischen Durchführung strategischer Planungskonzepte insbesondere auch der Akquisitions- und Investitionspolitik zu postulieren sind.

In einem weiteren Abschnitt ist dann zu prüfen, ob die nachfolgend zu lösende strategische Planungsaufgabe der betrieblichen Praxis über Merkmale verfügt, die uns eine operationale Formulierung des zugrundeliegenden strategischen Entscheidungsproblems erlauben. Es ist also offenzulegen, inwieweit die hier analysierte Themenstellung als Beitrag zu einer kommunizierbaren Unternehmensplanung gewertet werden kann.

1.3.1. Merkmale und Zielsetzungen der operationalen strategischen Planung als Beitrag zu einer kommunizierbaren Unternehmensplanung

"Jede Systemstudie erfordert die Wahl passender Entscheidungskriterien, die der vergleichenden Bewertung von Handlungsalternativen dienen. ... Werfen wir zunächst einen Blick auf das theoretische Ideal des Wissenschaftlers. Dieses wäre dann erreicht, wenn sich die Entscheidungsalternativen mittels eines einzigen, skalaren Nutzenmaßes, also einer einzigen Kennziffer bewerten ließen. Damit stünde einer rein rechnerischen Auswahl der bevorzugten Alternative anhand dieses Nutzenmaßes, also einem Entscheidungskalkül, nichts mehr im Wege" (Hanssmann 1978). Indes müssen wir in der Praxis der Systemforschung und vor allem auch in der betrieblichen Planungspraxis von der Realisation der oben formulierten Idealvorstellung Abstand nehmen. Dies liegt vor allem begründet in Problemen der Definition und Meßbarkeit des Nutzens, "die auch dann schon existieren, wenn von der zeitlichen Dimension des Geschehens sowie von Aspekten der Unsicherheit abgesehen wird" (Hanssmann 1978), Problemen der expliziten Berücksichtigung des Zeitfaktors und nicht zuletzt Problemen der Unsicherheit zukünftiger Umweltbedingungen.

Somit sind wir gezwungen, nach Entscheidungskriterien zu "fahnden", die nicht nur qualitativ meßbar, sondern im Hinblick auf die Zielsetzung der Entwicklung eines quantitativen Systemmodells auch kardinal skalierbar sind. "Die 'offenen' Ziele einer Organisation lösen das Problem nicht. Sie sind in der Regel zu vage, allgemein und philosophisch gehalten und erweisen sich auf der Ebene konkreter Handlungsalternativen als nicht operational" (Hanssmann 1978).

Im Wege der quantifizierenden Zieldekomposition (vgl. hierzu auch Abb. 3) könnten wir eine hinreichend exakte Objektivierung der abstrakten Oberziele unseres Unternehmens durchführen, dies umso mehr, als uns eine Gewichtung der hierbei abgeleiteten Subziele gelingen würde.

Der Prozeß der Zieldekomposition muß indes flankiert sein von der Entwicklung einer im Verlaufe immer engmaschigeren, deutlicher werdenden Vorstellung der Handlungsalternativen, deren Bewertung letztendlich auch Sinn und Zweck der Erarbeitung handhabbarer Endtscheidungskriterien repräsentiert. Erst dann besteht begründete Hoffnung, "ein Abstraktionsniveau der Kriterien zu treffen, das für Bewertungszwecke genügend konkret ist" (Hanssmann 1978).

An dieser Stelle sei nun folgende These formuliert, die wir als Ausgangspunkt für weitere Erörterungen in der aufgezeigten Richtung benötigen:

"Die Schaffung operationaler Konzepte der strategischen Planung ist untrennbar verknüpft mit der Auswahl quantifizierbarer Entscheidungskriterien in dem Sinne, als sie hier ihren Anfang nehmen muß."

Diese Aussage leuchtet unmittelbar ein, wenn man bedenkt, daß die Definition operationaler Entscheidungskriterien den ersten Schritt für die Entwicklung quantitativer Modellsysteme der (strategischen) Unternehmensplanung darstellt. Demzufolge wollen wir ein Aktionsprogramm der strategischen Planung nur dann als operational, quantitativ handhabbar bezeichnen, wenn es einer Modellunterstützung zugänglich ist. Die Modellierbarkeit des zugrundeliegenden realen Systems ist mithin als notwendige Bedingung für die Operationalität strategischer Planungskonzepte zu bewerten.

Zum Zwecke der Formulierung einer entsprechenden hinrei-

chenden Bedingung seien Inhalt und Umfang der Operationalität, wie sie für strategische Aktionsprogramme zu fordern ist, wie folgt festgelegt:

Strategische Planung erfüllt den Tatbestand der Operationalität dann und nur dann, wenn sie keinerlei Eigenschaften besitzt, die in offensichtlicher Weise gegen einen erfolgreichen Einsatz des Konzepts in der betrieblichen Planungspraxis sprechen. Diese Gefahr betrachten wir dann als unbegründet, wenn

- a) der Umfang an Inputdaten, mit denen das zugehörige quantitative Modellsystem zu versorgen ist, in einem günstigen Verhältnis zur Anzahl der zu bewerteten Alternativstrategien steht. Indiesem Zusammenhange wollen wir mit Hanssmann von der Notwendigkeit sprechen, daß ein strategisches Modell der Unternehmensplanung über eine möglichst hohe Informationsproduktivität verfügen müsse. Dies läßt sich durch einen geringen Detailliertheitsgrad respektive relativ hohen Aggregationsgrad des quantitativen Modells (soweit dies mit sachlogischen Erfordernissen konform geht) vergleichsweise bequem bewerkstelligen. Allerdings benötigen wir hierzu Modellsysteme mit echten Entscheidungsvariablen sowie kausalen, mithin nicht auf Tautologien beruhenden Relationen (vgl. Hanssmann 1982).
- b) sowohl Planungsprämissen als auch Planungsergebnisse kommunikationsfähig, d.h. für die Gesamtheit der betroffenen Entscheidungsträger in formeller sowie materieller Hinsicht verständlich und somit zur Lösung von Entscheidungsproblemen nutzbar sind. "Systemforschung produziert nicht Entscheidungen, sondern entscheidungsrelevante Informationen, die mit Hilfe von Systemmodellen gewonnen werden" (Hanssmann 1978). Entscheidungen müssen beim Entscheidungsträger verbleiben. Gerade deshalb haben die

entscheidungsvorbereitenden Instanzen gesteigerten Wert auf die Beachtung und explizite Berücksichtigung von Sprache und Habitus ihrer Zielpersonen zu legen. Akzeptanzprobleme können mittels partizipativer Systementwicklung wenn nicht schon im Keime erstickt, so doch zumindest auf ein erträgliches Mindestmaß reduziert werden. Der Entscheidungsträger muß sich dessen bewußt sein, daß ihm in einem modellgestützten Konzept der strategischen Unternehmensplanung nicht etwa eine Konkurrenz, sondern eine spürbare Erleichterung seines "business as usual" erwächst.

Zusammenfassend wollen wir die unter a) sowie b) erhobenen Forderungen als hinreichende Bedingungen dafür postulieren, daß ein strategisches Aktionsprogramm den Tatbestand der Operationalität erfüllt. In dem nun nachfolgenden Abschnitt sind die hier dokumentierten Erkenntnisse auf unsere konkrete Problemstellung zu übertragen.

1.3.2. Einordnung der vorliegenden praktischen Problemstellung in den Rahmen der operationalen strategischen Planungsprozesse

Unsere Zielsetzung besteht, um es eingangs kurz zu rekapitulieren, in der Erarbeitung eines quantitativen, modellgestützten Systems der strategischen Fertigungsprogramm- und Investitionsplanung unter Beachtung produkt- und akquisitionspolitischer Gegebenheiten bzw. Restriktionen. Wir streben dabei die Ermittlung eines optimalen Investitionsprogramms für einen Planungshorizont von 6 Jahren an, unter Zugrundelegung einer modellendogen festzulegenden Verteilung des insgesamt während der Planungsperiode zu erbringenden betrieblichen Leistungsspektrums auf interne

und externe Wertschöpfungsquellen. Darüber hinaus sollte unser Modellsystem in der Lage sein, für jede Hauptkostenstelle der Unternehmung zu jedem Zeitpunkt der Planungsperiode ein (möglichst vollständiges) Soll-Investitionsbudget (gewünschte Investitionsmittelallokation) auszuweisen, um die betrieblichen Investitionsausschüsse jederzeit in die Lage zu versetzen, vor allen Dingen negative Soll-Ist-Abweichungen zwischen geplanten und tatsächlich bereits in Anspruch genommenen Investitionsbudgets schnellstmöglich beim verantwortlichen Leiter der betroffenen Hauptkostenstellen zu monieren.

Im Vorgriff auf die Ausführungen des zweiten Kapitels dieser Analyse wollen wir an dieser Stelle die Frage nach der Modellierbarkeit der oben beschriebenen Problemstellung insoweit beantworten, als dies dem Nachweis der Operationalität des nachfolgend in detaillierter Weise zu beschreibenden Modellkonzepts dienlich ist. Zunächst ein paar Worte zur Auswahl eines adäquaten operationalen Entscheidungskriteriums. In den einführenden Bemerkungen des Abschnitts 1.2. ist bereits angeklungen, daß zur vergleichenden Bewertung verschiedener Handlungsalternativen Kriterien herangezogen werden sollten, welche in der Lage sind, den Beitrag dieser Alternativen zum betrieblichen Erfolg zu messen. Wir betrachten mithin den Betriebserfolg als operationales, quantifizierbares Nutzenmaß, welches einerseits für die Zwecke der Evaluierung von Handlungsalternativen hinreichend konkret scheint sowie andererseits unsere noch relativ abstrakt formulierten, offiziellen Ziele der Produktqualität und Prozeßwirtschaftlichkeit auf der Ebene der Handlungsalternativen in einer unverzerrten Weise objektiviert bzw. versinnbildlicht.

Prinzipiell können wir nunmehr unter zwei verschiedenen Vorgehensweisen der Messung des Betriebserfolges wählen und die beiden nachfolgenden Entscheidungskriterien zur Diskussion stellen:

- 1) Man wähle diejenige Handlungsalternative, die im Vergleich zu allen anderen den höchsten Gewinn zeitigt.
- 2) Man recurriere auf die Handlungsmöglichkeit, welche die geringsten Kosten verursacht.

Aus Gründen, die im Kapitel 2.1. noch näher zu erläutern sind, werden wir uns auf ein reines Kostenkalkül zurückziehen. Mithin erstreben wir die Minimierung der entscheidungsabhängigen (zusätzlichen) Kosten der internen sowie externen betrieblichen Leistungserstellung zuzüglich der auf die Gesamtheit des Planungshorizonts entfallenden Aufwendungen für Investitionen in maschinelle Anlagen und Sonderbetriebsmittel. In diesem Zusammenhange sei betont, daß bei der Analyse der zielrelevanten Konsequenzen der Handlungsalternativen streng nach dem Verursachungsprinzip zu prozedieren ist. Trivialerweise verursacht jede Handlungsalternative (aus der Perspektive der betrachteten Unternehmung) sowohl positive als auch negative Konsequenzen. "Hierbei verstehen wir unter negativen Konsequenzen solche, die den notwendigen Einsatz wertvoller Ressourcen betreffen; unter positiven Konsequenzen solche, die als Beitrag zur Erfüllung der Mission der Organisation gewertet werden können. Wir können die negativen Konsequenzen kurz als Aufwendungen ("inputs"), die positiven als Erträge ("outputs") bezeichnen, wenn wir diese Begriffe genügend allgemein — keinesfalls nur im monetären Sinn — fassen" (Hanssman 1978).

Gemäß der Festlegung unseres Entscheidungskriteriums be-

schränken wir uns auf die Quantifizierung von Aufwendungen. Wir unterscheiden hierbei unterschiedliche Kategorien knapper Ressourcen, wie etwa maschinelle Anlagen, Personal sowie finanzielle Mittel. Zum Zwecke der Beseitigung von Inkommensurabilitäten der Maßgrößen genannter Kostengattungen recurrieren wir auf die in Geldeinheiten bewerteten Verzehrsmengen der entsprechenden Kostengüter, deren Verbrauch durch die betriebliche Wertschöpfungserstellung ursächlich bedingt ist.

Mit der Fixierung auf ein Kostenkalkül als operationales Entscheidungskriterium haben wir die globalen Voraussetzungen für eine Modellierung unserer realen Entscheidungssituation geschaffen. Es darf angenommen werden, daß uns die Definition des nutzbaren Entscheidungsraumes, die kombinatorische Vielfalt aller möglichen (echten) Handlungsalternativen reflektierend, nach der Überwindung der ersten Anlaufschwierigkeiten ohne größere Komplikationen geglückt ist. Dabei wurde, interaktiv mit der Identifikation diverser Knappheitsrestriktionen, die von den Handlungsalternativen unter keinen Umständen verletzt werden dürfen (im wesentlichen handelt es sich hierbei um Kapazitäts-, Budget- sowie Plausibilitätsrestriktionen formaler Natur), mit peinlicher Genauigkeit auf die Erzielung hoher Informationsproduktivitäten geachtet. Hierfür sei auch der von uns gewählte hohe Abstraktionsgrad des Modells (Beschränkung auf Hauptkogruppen einerseits sowie Hauptkostenstellen andererseits) ein Indiz. Des weiteren kann mit Fug und Recht behauptet werden, daß man sowohl bei der Identifikation als auch bei der wertmäßigen Taxierung der ziel- und handlungsrelevanten Umweltparameter mit der hierfür erforderlichen Sorgfalt zu Werke gegangen ist.

Auch was die Kommunizierbarkeit der Planungsprämissen und -ergebnisse anbetrifft, können wir mit dem Operationalitätsgrad unseres strategischen Modellsystems der Fertigungs- und Investitionsprogrammplanung in hohem Maße zufrieden sein. Unter ständiger Beachtung der Leitlinien einer partizipativen Systemgestaltung waren wir darum bemüht, die betroffenen Entscheidungsträger (Systembenutzer) jeweils in Abständen von zwei Wochen über den neuesten Entwicklungsstand unseres strategischen Planungssystems zu unterrichten. Auf diese Art und Weise fand ein regelmäßiger, von beiden Seiten begrüßter und als fruchtbar eingestuftter Meinungsaustausch statt.

In Würdigung der in diesem Abschnitt diskutierten Merkmale unseres Modellsystems der strategischen Fertigungsprogramm- und Investitionsplanung können wir nun abschließend festhalten, daß dieses Aktionsprogramm als fortschrittlicher Beitrag zu einem zukunftsorientierten Konzept einer kommunizierbaren Unternehmensplanung angesehen werden kann und muß.

1.4. Merkmale, Inhalte und Zielsetzungen eines hierarchischen Modellsystems der integrativen strategischen und operativen Fertigungs- und Investitionsprogrammplanung

Im Rahmen der Ausführungen zu den Abschnitten 1.1.1. sowie 1.1.3. wurde betont, daß sich die operative Unternehmensplanung mit der kurzfristigen Konkretisierung strategischer Maßnahmen zu befassen habe, welche für die Führungskräfte des mittleren und unteren Managements nur schlecht kommunizierbar sind. Hieraus ist unschwer abzuleiten, daß

strategische und operative Unternehmensplanung keinesfalls losgelöst voneinander, sondern integrativ zu betreiben sind. Ein solches integratives Planungskonzept muß gemäß der Charakteristika strategischer und operativer Pläne notwendigerweise hierarchisch strukturiert sein. Dies impliziert, daß die Zielwerte strategischer Entscheidungs- und Ergebnismerkmale unerläßliche Inputdaten für entsprechende operative Planungsstrukturen darstellen. Eine derartige enge Verknüpfung strategischer und operativer Planungsaktivitäten läßt sich jedoch nur dann in einer hinreichend suffizienten Weise bewerkstelligen, wenn die Ermittlung beider Aktionsprogramme modell- und EDV-unterstützt erfolgt. "Jegliche Planung impliziert Entscheidungen ... Daher geben Entscheidungsmodelle, welche per definitionem der Analyse und Bewertung von Entscheidungsalternativen durch Vorausberechnung ihrer Konsequenzen dienen, höchst relevante Planungshilfen ab" (Hanßmann 1982). Dies gilt umso mehr, je turbulenter das Umfeld der jeweiligen unternehmerischen Tätigkeit sowie komplexer das zu bewältigende strategische Entscheidungsproblem ist. Selbst wenn der strategische Planungsrahmen robuste erste Schritte empfehlen kann, gilt es für den Bereich der operativen Aktionsprogramme eine Vielzahl höchst umweltsensitiver Planalternativen und Maßgaben der strategischen Zielwerte zu suchen, zu strukturieren und zu bewerten. Hierbei versteht sich von selbst, daß eine modellgestützte Planungsprozedur intensiver EDV-Unterstützung bedarf und häufig ... eine Einbettung in anspruchsvolle Informationssysteme erfordern kann" (Hanßmann 1982).

Aus den obigen Erläuterungen wird somit deutlich, daß unser — in den Grundzügen bereits skizziertes — strategisches Modellsystem der strategischen Fertigungs- und Investitions-

programmplanung eine permanente Signal- und Vorgabefunktion für ein — im Unternehmen bereits erfolgreich implementiertes — operatives Modellsystem der simultanen Produktionsprogramm- und Investitionsplanung wahrzunehmen hat. Umgekehrt lassen sich durch eine solche strategisch-/operative Verbundplanung auch "organische" Rückkopplungseffekte von der Kurzfrist- zur Langfristplanung realisieren, so daß um eines langfristig sinnvollen Aktionsprogrammes willen keine kurz- und/oder mittelfristigen Nachteile in Kauf genommen werden müssen. Somit können wir auch von einer optimalen Streuung der Wirkungsbreite von Akquisitions- und Investitionsentscheidungen sprechen: Die EDV-gestützte Auswertung des strategischen Modellsystems der Fertigungs- und Investitionsprogrammplanung eröffnet die Möglichkeit, durch Gegenüberstellung der optimalen Infrastrukturkonzeptionen verschiedener (plausibler) Umweltszenarien robuste (Soll-)Investitionsbudgets für die Hauptkostenstellen sowie robuste Schwerpunktverschiebungen im Zukauf von Technologiekomponenten zu ermitteln. Für die von genannten Schwerpunktverschiebungen in starkem Maße betroffenen Fertigungsbereiche werden zum Zwecke der operativen Umsetzung der strategischen Rahmenvorgaben detaillierte Analysen auf der Ebene konkreter Einzelteile und Maschinenbereiche durchgeführt. Diese Untersuchungen sind zentrale Elemente des oben genannten operativen Modellsystems der simultanen Produktionsprogramm- und Investitionsplanung. Ziel dieses Modells ist, um es zu wiederholen, eine kurzfristig (einjähriger Planungshorizont) kostenoptimale Zuteilung des jeweiligen, vom strategischen Oberbau her fixierten Teilebedarfs auf hausinterne Kapazitäten des betrachteten Fertigungsbereichs sowie externe Zulieferer. Weitere Einzelheiten hierzu seien im Rahmen des Kapitels 4.3. Gegenstand der Betrachtung.

Bereits an dieser Stelle gilt es jedoch festzuhalten, daß beide Planungskonzepte, also sowohl das strategische, als auch das operative Modellsystem, im EDV-Verbund gefahren werden müssen. Nur so ist eine permanente Interaktion der jeweiligen planerischen Wirkungskreise in der betrieblichen Praxis sinnvoll und mit hoher Wahrscheinlichkeit persistent durchführbar.

2. DIE (THEORETISCHE) GRUNDKONZEPTION EINES STRATEGISCHEN MODELLS DER AKQUISITIONS- UND INVESTITIONSPROGRAMM- PLANUNG

Zu Beginn wollen wir zunächst einmal die charakteristischen Phasen einer Systemstudie betrachten, wie sie in Abb. 4 in Anlehnung an Hanssmann (1978) zusammengefaßt sind. Wie sich im weiteren Fortgang der hier vorliegenden Analyse jedoch noch sehr deutlich herausstellen wird, sind die Phasen einer solchen Studie weder in sachlicher Hinsicht streng voneinander trennbar, noch einer derartig eindeutigen temporären Reihenfolge unterwerfbar.

Die enge, organische Verknüpfung dieser Phasen scheint schon auf in einer Reihe von Iterationsschleifen, die während der Systementwicklung ein oder erfahrungsgemäß mehrere Male durchlaufen werden müssen. Dies kann dadurch plausibel gemacht werden, daß den mit der Systementwicklung betrauten Projektteams a-priori nicht alle relevanten Informationen über das Istsysteem zur Verfügung stehen, welche zur Generation eines abstrakten, möglichst realitätsgetreuen Abbilds der Wirklichkeit benötigt werden.

Trotzdem orientiere sich der Aufbau dieses Kapitels im wesentlichen am Phasenschema der Abb. 4. Während sich einerster Abschnitt mit dem Verfahren der Auswahl geeigneter Entscheidungskriterien befasste, soll der zweitedieses Kapitels Aufschluß geben über Möglichkeiten zur Erzeugung sinnvoller Handlungsalternativen, deren kombinatorische Vielfalt letzten Endes im Entscheidungsraum ihren Niederschlag findet. Ein dritter und letzter Abschnitt beschreibe in detaillierter Form Konstruktion sowie Maßnahmen zur Validierung unseres strategischen Entscheidungsmodells der Fertigungs- und Investitionsprogrammplanung.

2.1. Der Prozeß der Auswahl problemadäquater Entscheidungskriterien

Folgt man den allgemein üblichen Konventionen der Konstruktion eines quantitativen Modells zur Unternehmensplanung, so ist ein solches (getreues) Abbild der Realität aus nachfolgenden Elementen zu formen:

- Man bestimme ein oder auch mehrere operationale Entscheidungskriterien (E).
- Es sind (in jedem Falle mehrere) Handlungsalternativen (X) zur bestmöglichen Erfüllung dieser Entscheidungskriterien zu suchen bzw. zu erfinden.
- Man berücksichtige sämtliche, für die Lösung des Entscheidungsproblems relevanten Umweltparameter (Y).

Aus den genannten Bausteinen ist ein (symbolisches) Modell zu konstruieren, so daß

$$E = F(X, Y)$$

gilt. Anschließend validiere man diesen Zusammenhang, d.h. überprüfe, ob die Modellbeziehung "F" ein wirklich getreues Abbild der Realität repräsentiert.

In diesem Abschnitt sei nun die Ermittlung problemadäquater Entscheidungskriterien unter die Lupe genommen. "Realwertschöpfungsorientierte, systemare Investitionsplanung sollte die erfolgsmäßigen Auswirkungen der potentiell durchführbaren Investitions- (mittelallokations-) programme klar erkenntlich machen und die entscheidungsvorbereitenden Instanzen befähigen, den Entscheidungsträgern selbst ein erfolgsmäßig bestes (optimales) Investitionsprogramm zur Option zu stellen."

2.1.1. Die Suche nach operationalen Entscheidungskriterien

Somit eine erste, bereits in den zusammenfassenden Bemerkungen des Abschnitts 1.2.4. formulierte Abgrenzung des Bewegungsspielraumes, der uns bei der Suche nach passenden Entscheidungskriterien zur Verfügung steht. Eine exakte begriffliche Festlegung des von uns letzten Endes gewählten Entscheidungskriteriums sei dem nachfolgenden Abschnitt vorbehalten.

Wir können der obigen Abgrenzung unschwer entnehmen, daß zum Zwecke der Evaluierung alternativer strategischer Handlungsmöglichkeiten hinreichend operationale Kriterien zur Feststellung des Beitrags jener Vorgehensweise zum Betriebserfolg zu suchen sind. Wie im Rahmen der Ausführungen des Kapitels 1.3.2. bereits angeklungen ist, wollen wir dem reinen Kostenkalkül den Vorzug gegenüber einem umfassenden Gewinnkalkül geben. Es ist unstrittig, daß beide Kalküle ganz offenbar die Basisforderung nach uneingeschränkter Operationalität erfüllen, da sie jeweils betriebliche Subziele strategischen Charakters repräsentieren,

- welche durch sukzessive Zieldekomposition aus dem (höchst abstrakten) Oberziel der Unternehmung hergeleitet wurden und daher
- auf der Ebene der potentiell gegebenen Handlungsalternativen einer Quantifizierung zumindest grundsätzlich offenstehen.

Aus welchen Gründen nun auf das Gewinnkalkül verzichtet ist, sei der nachsehenden Analyse entnommen.

Der Gewinnbegriff zerfällt, ex definitione, in zwei Komponenten. Es sind dies der Erlös und die durch Erstellung (und marktliche Verwertung) der entsprechenden betriebli-

chen Leistung entstandenen Kosten. Wir müssen nunmehr die Frage aufwerfen, ob wir durch die Wahl der einen oder anderen Handlungsalternative die Höhe des Gewinns tatsächlich beeinflussen können (Prinzip der Entscheidungsabhängigkeit). Wenn ja, gehen wir einen Schritt weiter, indem wir feststellen, welche der beiden genannten Gewinnkomponenten einem solchen Einfluß unterliegt und mithin entscheidungsabhängig ist.

Man betrachte also eine ganz bestimmte Wertschöpfungssumme, welche in den Automobilen unseres Unternehmens sozusagen ihren Niederschlag findet; sagen wir einmal die im Karosserierohbau für einen exakt abgegrenzten Zeitraum laut Stücklist zu erbringende betriebliche Leistung.

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, diesen Wertschöpfungsbetrag für besagten Zeitraum zum Teil oder auch vollständig fremdzuvergeben oder aber in eigener Regie zu erstellen. Im letzteren Falle können hierbei ggf. (bei kurz- oder auch längerfristig knapp bemessenen Produktionspotentialen) auch Ersatz- und/oder Neuinvestitionen fällig werden, deren Wirkungshorizont die betrachtete Zeitperiode überschreiten kann und dies in aller Regel auch tun wird. Welche der genannten, bei stetig definierten Eigenfertigungs- bzw. Fremdbezugsanteilen prinzipiell unendlich vielen Handlungsalternativen zeitigt nun den höheren Gewinn? Bei etwas genauerem Hinsehen erweist sich diese Fragestellung als mehr oder weniger prophylaktisch, und dies aus zweierlei Gründen:

1. Den betrieblichen Handlungsmöglichkeiten läßt sich kein eindeutig fixierbarer Erlös zuordnen. Nicht etwa die extern und/oder intern erbrachte Leistung der Kon-

struktionsgruppe "Karosserierohbau" allein, sondern das gesamte Automobil als solches unterliegt einer marktmäßigen Verwertung. Die Ertragskomponente eines Gewinnkalküls kann auf der Ebene unserer Handlungsmöglichkeiten nicht oder nur in höchst willkürlicher Art und Weise quantifiziert werden.

Darüber hinaus lassen sich ad hoc keinerlei Gründe nennen, die dafür sprechen würden, daß die (rein theoretisch natürlich denkbare) marktliche Verwertung eines solchen intern erbrachten Wertschöpfungsbetrages einen höheren Ertrag erzielte als ihr extern produziertes Pendant und umgekehrt.

Die ErlösKomponente des Gewinnkalküls ist demnach entscheidungsunabhängig und kann vernachlässigt werden.

2. Entscheidungsabhängig ist jedoch zweifellos die Kostenkomponente des Gewinnkalküls. Je nachdem, ob die fragliche Wertschöpfungssumme im Hause oder auswärts produziert wird, fallen die oder jenen direkten und indirekten Kosten der Wertschöpfung an (was hierunter im einzelnen zu subsumieren ist, sei an späterer Stelle erläutert), und zwar mit hoher Wahrscheinlichkeit in unterschiedlicher Höhe. Man denke in diesem Zusammenhange nur einmal an das Intern/Extern-Gefälle der Kostenwirtschaftlichkeit, welches auf unterschiedlich fortgeschrittenes Spezialistentum zurückzuführen ist, sowie an die Handelsspanne des Zulieferers, die selbstverständlich vom Leistungsempfänger, von unserem Unternehmen, zu tragen ist.

Diese Kosten lassen sich, im Gegensatz zur ErlösKomponente, direkt auf der Ebene unserer Handlungsalternativen messendergestalt, daß jeder Alternative ein Kostenbetrag eindeutig zuordenbar ist. Welche Kostenbestand-

teile letztendlich in die Betrachtung miteinfließen, ist, wie oben angedeutet, eine zweite Frage, die im nächsten Abschnitt eigens gewürdigt werden soll. -

Wir ziehen ein Fazit aus diesen Erläuterungen und halten fest: Ein Gewinnkalkül müssen wir uns in jedem Falle ersparen. Die Höhe des Gewinns, der mit der Auswahl einer bestimmten Handlungsalternative verbunden ist, läßt sich mangels Quantifizierbarkeit der Ertragskomponente auf der von uns gewählten Betrachtungsebene äußerstenfalls willkürlich ermitteln. Natürlich unterliegt dieser Gewinn, je nach Wahl der Handlungsalternative, einer Schwankung, jedoch ausschließlich via Kostenkomponente. Deshalb erscheint uns die Wahl eines reinen Kostenkalküls zum Zwecke der Messung des Beitrags verschiedener Handlungsmöglichkeiten des Entscheidungsraumes zum betrieblichen Erfolg gerechtfertigt.

2.1.2. Die Definition des gewählten Entscheidungskriteriums gemäß den Grundsätzen der Entscheidungsabhängigkeit

Wir gehen nun über zur begrifflichen Festlegung des von uns im Rahmen des Entscheidungskalküls zu verwendenden Kostenbegriffs. Hierbei wollen wir uns streng an den Aspekten der Entscheidungsabhängigkeit orientieren.

Zunächst muß jedoch darauf hingewiesen werden, daß schon bei der Auswahl unseres Entscheidungskriteriums Überlegungen bezüglich potentieller Handlungsalternativen mit einer Rolle gespielt haben. Dies zeigt zum einen deutlich auf, daß die einzelnen Phasen einer Systemstudie, wie sie in

Abb. 4 rein formell unterschieden werden, materiell sehr eng verknüpft sind. Zum anderen gibt uns diese Erkenntnis berechtigten Anlaß zu der Feststellung, daß die Definition des Begriffes entscheidungsabhängiger Kosten nur in Kenntnis des gesamten Entscheidungsraumes sowie der Vorabfestlegung des Planungshorizonts geschehen kann. Trotzdem wollen wir Erörterungen bezüglich dieser Fragestellungen an dieser Stelle auf ein notwendiges Maß beschränken, um Vorgriffe auf die Erörterungen des Kapitels 2.2., wo wir diese Thematik für sinnvoller untergebracht erachten, in Grenzen zu halten.

Entscheidungsabhängig sind in jedem Falle

- die direkten Kosten der Erstellung eines bestimmten Wertschöpfungsbetrages während eines exakt spezifizierten Planungshorizonts T , der in T äquivalente Teilperioden t untergliedert sei. Der Terminus "direkte Kosten" umfasse dabei diejenigen, in Geldeinheiten bewerteten Verzehrmenen, welche dieser betrieblichen Leistungserstellung gemäß dem Kostenverursachungsprinzip direkt zuordenbar sind (Einzelkosten). Hierunter sind dann insbesondere zu subsumieren die zum Zwecke der Erbringung dieser Wertschöpfungssumme entstehenden
 - proportionalen Fertigungskosten für die während der betrachteten T Perioden im Hause zu erstellenden diesbezüglichen Anteile AH_t , $0 \leq AH_t \leq 1$, $t = 1, \dots, T$, sowie die korrespondierenden
 - Bezugskosten für die bis zum Ende des Planungshorizonts extern zu fertigenden Anteile $(1 - AH_t)$, $0 \leq AH_t \leq 1$, $t = 1, \dots, T$, der betrachteten Leistungsgattung, abzüglich der hierfür aufzuwendenden Materialkosten.

- Von einer expliziten Berücksichtigung der (Einzel-) Kostenart "bewerteter Materialverzehr" im Entscheidungskalkül sei mithin sowohl im Falle der Selbsterstellung, als auch bei Fremdbezug einer bestimmten Wertschöpfungssumme abstrahiert.
Diese Vorgehensweise läßt sich begründen durch die nachfolgenden, für die Automobilbranche empirisch signifikant nachweisbaren Charakteristika:
zum einen verfügen die Fahrzeughersteller selbst und die Zulieferindustrie über in etwa identische Rohstoff- bzw. Materialquellen, zum anderen weisen die jeweils eingesetzten Fertigungstechniken einen annähernd äquivalent dimensionierten Materialverzehr auf. Deshalb sind wir in der Lage, die Materialkosten als eine entscheidungsunabhängige Verzehrart von unserer Betrachtung zu suspendieren.
- Ähnliches gilt im übrigen auch für jeweils anteilig auf einzelne Wertschöpfungsbeträge (rein theoretisch) zu verrechnende Kosten
 - der allgemeinen Verwaltung. Einerseits besitzt diese Verzehrart wohl zum größten Teile einen ausgeprägten Fixkostencharakter und ist mithin ausbringungs- und damit wertschöpfungsunabhängig. Andererseits wären gegen eine mit hoher Wahrscheinlichkeit willkürlich vorzunehmende Verrechnung des Verwaltungskostenblocks auf einzelne Fahrzeugkomponenten auch bei gegebener Entscheidungsabhängigkeit dieser Verzehrsart erhebliche Bedenken anzumelden.
 - des allgemeinen Vertriebs nebst ggf. anfallender Sondereinzelkosten des Vertriebs, deren Höhe mit Sicherheit nicht mit der Auswahl der einen oder anderen der genannten Wertschöpfungsquellen in signifikanter Weise variiert.

Dies will selbstverständlich nicht besagen, daß etwa die Bezugskosten fremdbezogener Leistungen in gleicher Weise um die zuletzt genannten Verzehrarten zu bereinigen seien, einmal abgesehen von der faktischen Unmöglichkeit eines derartigen Vorgehens. Der vom Zulieferer gesetzte Preis für die Erbringung einer bestimmten Leistung (der natürlich auch das Resultat eingehender Verhandlungen darstellen kann) ist in allen seinen Bestandteilen, wenn wir einmal von der offensichtlich entscheidungsunabhängigen Materialkostenkomponente absehen, zwingenderweise Gegenstand der Erwägungen pro und contra Fremdbezug von Wertschöpfungsbeträgen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden: Für jede Periode t des Planungszeitraumes T sind den (anteiligen) Fertigungs(einzel-)kosten der Selbsterstellung einer konstruktionsbereichsspezifischen betrieblichen Leistung die korrespondierenden (anteiligen) Kosten des Bezugs derselben Leistungsgattung vom Markt (vermindert um die Komponente des Materialverzehr) gegenüberzustellen.

Entscheidungsabhängig sind des weiteren

- die indirekten Kosten der betriebsinternen Erstellung eines bestimmten Wertschöpfungsbetrages während des Planungszeitraumes T .
Hierzu wollen wir die nachfolgenden, in Geld bewerteten Verzehrarten zählen:
 - An erster Stelle sind hier die periodisierten, bestimmten Fertigungseinheiten (Hauptkostenstellen) zum Zwecke der Erstellung der betrachteten Wertschöpfungssumme zu allozierenden Mittel für Anlageninvestitionen zu nennen. Es sind dies periodenanteilige Abschreibungen für die während T getätigt-

ten Ersatz- und Neuinvestitionen gleichermaßen, welche in einem kausalen Zusammenhang mit der Selbsterstellung bestimmter Fahrzeugkomponenten bis zum Ende des Planungshorizonts stehen.

- Des weiteren seien die (bezüglich t , $T = 1, \dots T$) periodisierten, einer bestimmten Fertigungseinheit aufgrund der Wahl einer bestimmten Fertigungs- und Beschaffungsstruktur kausal zurechenbaren, während T erfolgten Ausgaben für Sonderbetriebsmittel (Spezialwerkzeuge u.ä.) im Entscheidungskalkül berücksichtigt. Hier gilt es nun zu unterscheiden zwischen außerordentlichen Betriebsmitteln, welche
 - aus Anlaß der Installation einer neuen Fertigungsanlage, sei es aus Ersatz- oder Erweiterungsgründen, ebenfalls neu beschafft werden müssen. Es handelt sich hierbei also um anlagen-typspezifische Werkzeuge, die ausschließlich im Verbund mit entsprechenden maschinellen Vorrichtungen genutzt werden können.
 - nur dann neu angeschafft werden müssen, wenn ein Modellwechsel (Einführung eines neuen Fahrzeugtyps einer bereits existierenden Baureihe oder gar Vorstellung völlig neuartigen Modelle) ins Haus steht. Es sind dies mithin fahrzeugtypspezifische Sonderbetriebsmittel.

Während wir die Aufwendungen für erstgenannte Gattung von außerordentlichen Betriebsmitteln durchaus als entscheidungsabhängig erachten, müssen wir den Kosten für fahrzeugtypspezifische Spezialwerkzeuge ebendiese Eigenschaft absprechen. Diese stehen offenbar keineswegs in einem Ursache-Wirkungs-Zusammenhang mit der Entstehung und/oder der (von der Wahl des Fremdbezugsanteils abhängigen) tatsächlichen Höhe einer intern in einem bestimmten Fertigungszen-

trum zu erbringenden Wertschöpfung. Lediglich die Zurechenbarkeit jener Verzehrsart zu einer ausgezeichneten Wertschöpfungsquelle (Selbsterstellung), und dies auch nur bei innerhalb des Planungshorizonts vorgesehenen Modellwechseln, ist keine hinreichende Bedingung für die Erfüllung des Tatbestandes der Entscheidungsabhängigkeit.

Trotzdem soll auf die modellmäßige Berücksichtigung dieser Kostenart nicht verzichtet werden. Für diesen Entschluß spricht nachfolgende Argumentation, die zugleich eine kurze Zusammenfassung der wesentlichen Gedankengänge dieses Abschnitts bieten soll.

Entsprechend unserer Aufgabenstellung, die in den einführenden Bemerkungen zu dieser Analyse detailliert erörtert wurde, ergibt sich die Zielsetzung der strategischen Fertigungs- und Investitionsprogrammplanung in der Konzeption eines Fertigungs- und Beschaffungssystems, welches die seitens der Produkt-Macht-Strategien vorgesehenen Stückzahlen der einzelnen Modellreihen zu minimalen Kosten bereitstellt. Angesichts einer auf der strategischen Ebene unabdingbaren, hochaggregierten Betrachtung sollen die über den Planungshorizont T zu minimierenden Kosten folgende, in Geld bewerteten Verzehrsarten umfassen:

- Variable (proportionale) Fertigungskosten in den Konstruktionsgruppen
- Bezugskosten für Fremtteile in den Konstruktionsgruppen sowie
- Abschreibungen auf Produktionsanlagen und anlagentypspezifische Sonderbetriebsmittel der Hauptkostenstellen.

Überdies verlangen wir von unserem Entscheidungsmodell den Ausweis möglichst umfassender (vollständiger) Planinvesti-

tionsbudgets für jede Fertigungseinheit der Unternehmung zu jeder Periode t des Planungshorizonts T . Dieser Forderung kann indes nur dann Genüge getan werden, wenn auch die (jeweils periodisierten) Aufwendungen für die Neubeschaffung von jenen Sonderbetriebsmitteln entsprechende Berücksichtigung im Kalkül finden, welche im Falle eines Modellwechsels zu tätigen sind. Relativierend sei hierzu vermerkt, daß letztgenannter Kostenart wohl nicht die Bedeutung beizumessen ist, die sie dem Augenschein nach besitzen mag. Als Beleg hierfür diene die folgende "Hausnummer":

Aufwendungen für Sonderbetriebsmittel erreichten insgesamt, (also einschließlich der anlagentypspezifischen Spezialwerkzeuge), im Mittel über die letzten 6 Jahre lediglich einen verschwindend kleinen Bruchteil der jährlichen (Anlage-) Investitionsvolumina. Mit dieser Information im Hinterkopf läßt sich wohl die Tatsache, daß die in den Entscheidungskalkül aufgenommenen fahrzeutypspezifischen Sonderbetriebsmittel nicht das Charakteristikum der Entscheidungsabhängigkeit aufweisen, relativ leicht verschmerzen.

2.2. Die Erzeugung der Handlungsalternativen und Definition der Entscheidungsvariablen

"Während der abstrakte Entscheidungstheoretiker ... die Entscheidungsalternativen ... als gegeben voraussetzt, muß sich der Systemforscher um ihre konkret-inhaltliche Definition bemühen. Er steht also vor der Aufgabe, die in einer konkreten Entscheidungssituation existierenden Alternativen möglichst vollständig zu erfassen. Dabei wird er sich selbstverständlich des Sachverstands des jeweiligen Anwendungsgebiets bedienen, der im Forschungsteam immer vertre-

ten sein sollte. Doch reicht dies nicht aus. Auch Sachverständige sind durch 'Betriebsblindheit' und Tradition häufig nicht in der Lage, innovative Alternativen zu sehen. Die Systemforschung bedarf daher einer systematisch anwendbaren Methodik zur Erzeugung von Entscheidungsalternativen. Diese ist zwar im Prinzip als ein kreativer Prozeß anzusehen, doch läßt sich auch Kreativität in gewissen Grenzen systematisieren und gezielt anregen." (Hanssmann 1978).

2.2.1. Die Festlegung eines problemrelevanten Planungszeitraumes

Es ist im Grunde genommen ein offenes Geheimnis, daß die Festlegung der Länge des Planungshorizonts uno actu mit der Definition der potentiell realisierbaren Handlungsalternativen zu erfolgen hat, die ihrerseits wiederum nicht unabhängig von der Wahl geeigneter Entscheidungskriterien fixiert werden können. Sowohl im Bereiche der strategischen, als auch im Aktionsfeld der operativen Planung ist von entscheidender Bedeutung, daß der einmal definierte Planungszeitraum für alle Handlungsalternativen gleich lang bemessen ist und somit eine Kongruenz der zeitlichen Wirkungsintervalle aller betrachteten Alternativen gewährleistet.

- Im Falle der betriebsinternen Fertigung von Fahrzeugkomponenten können die entsprechenden Beschaffungs- und Investitionsentscheidungen, rein prinzipiell betrachtet, jederzeit revidiert werden. Dies hat allerdings zur Folge, daß kaufmännisch nicht vertretbare Leerkosten auftreten, da das freigesetzte Produktionspotential wohl nur schwerlich mit andersartigen Fahr-

- zeugkomponenten belegt werden kann. In aller Regel ist also die theoretisch gegebene Reversibilität der zugrundeliegenden Entscheidungen teuer zu bezahlen.
- Im Falle des Zukaufs von Kfz-Komponenten ist das Unternehmen an bestehende sowie im Verlaufe des Planungshorizonts noch abzuschließende Lieferverträge gebunden. Diese werden im Normalfall auch erfüllt, will man nicht das Risiko beträchtlicher Vertragsstrafen und eines damit verbundenen Verlustes an Image in der Öffentlichkeit in Kauf nehmen.

Wir wollen einmal aus genannten Gründen davon ausgehen, daß die verantwortlichen Entscheidungsträger einer sozusagen in dialektischen Sprüngen verlaufenden zeitlichen Entwicklung der Eigenfertigungs- bzw. Fremdbezugsanteile wohl nicht mit Wohlwollen gegenüberstehen. Dies impliziert den Verzicht auf gegenläufige (konträre) Revisionen einmal getroffener Beschaffungs- und Investitionsentscheidungen vor Ablauf des Planungszeitraumes. Wir dürfen daher berechtigterweise annehmen, daß sich obengenannte Anteilswerte im zeitlichen Verlauf des gewählten Planungsabschnittes, von bestimmten Initialwerten ausgehend, entweder stetig erhöhen, oder aber stetig vermindern (siehe hierzu Abb.5). Hieraus können wir schlußfolgern, daß wir uns auf einer sicheren Seite befinden, wenn wir als Planungshorizont die maximale Wirkungsdauer einer Alternative aus der Menge aller vorliegenden Handlungsmöglichkeiten wählen.

Ohne bereits an dieser Stelle die Extension unseres Entscheidungsraumes in allen Einzelheiten beschreiben zu müssen, kann in diesem Zusammenhang festgehalten werden, daß die mittlere Zeitspanne zwischen zwei Modellwechseln den durchschnittlichen Wirkungshorizont strategischer Beschaf-

fungs-, Fertigungs- und Investitionsentscheidungen in seinen weiter oben dargelegten Konsequenzen in hochsignifikanter Weise beeinflusst. Dies ist mit der Tatsache begründbar, daß die Einführung neuer Modelle typischerweise Investitionsschübe auslöst und somit das eine oder andere bestehende Fertigungspotential technisch wie wirtschaftlich entwertet. Daher ist zu solchen Zeitpunkten auch der Weg frei für die Festlegung neuer Schwerpunkte in der Zukaufspolitik. Aus ebendiesen Gründen wollen wir unseren Planungshorizont gleichsetzen mit dem durchschnittlich zwischen zwei Modellwechseln liegenden Zeitraum, der in etwa 6 Jahre beträgt.

Des weiteren soll, quasi als Beleg für die soeben getroffene Festlegung, erwähnt werden, daß ein Planungshorizont von 6 Jahren durchaus im Einklang steht mit der durchschnittlichen Länge der Planungsabschnitte, die in der bisherigen Planungs- und Controlling-Praxis bevorzugt werden. Diese Kongruenz sei aus folgendem Grunde besonders betont: Unser strategisches Modellsystem soll sich bereits unmittelbar nach vollzogener Implementierung nahtlos in das Gesamtsystem der betrieblichen Fertigungs- und Investitionsplanung im Unternehmen einfügen. Ganz abgesehen davon, daß diese Erkenntnis der Funktionsfähigkeit der Gesamtplanung und somit dem Wohle des Unternehmens nur dienlich sein kann, hilft eine solche Anpassung an den bisherigen Planungshabitus sicherlich eine Menge Akzeptanzprobleme umgehen.

2.2.2. Die Formulierung eines statischen Entscheidungs- raumes

Bevor wir uns der Entwicklung bzw. Erfindung potentieller Handlungsalternativen zuwenden werden, seien eingangs ein paar klärende Erläuterungen zum Begriff des Entscheidungs-
raumes vorweggenommen.

Der Entscheidungsraum soll die gedankliche Zusammenfassung der kombinatorischen Vielfalt aller denkbaren Konstellationen der jeweils untersuchten, betrieblichen Infrastrukturelemente in einer symbolischen Menge von geordneten Aktionspaaren darstellen. Die Mächtigkeit der Aktionspaare ist dabei abhängig von der Anzahl heterogener Infrastrukturdeterminanten, die wir als entscheidungsrelevante Freiheitsgrade bezeichnen wollen. Wenn angenommen wird, daß über N verschiedene Freiheitsgrade F_n ($n = 1, \dots, N$) verfügt werden kann, die sich ihrerseits aus entsprechenden, ökonomisch relevanten Definitionsbereichen D_{F_n} rekrutieren, so ergibt sich der korrespondierende Entscheidungsraum E zu

$$E = \left\{ (d_{F_1}, d_{F_2}, \dots, d_{F_N}) / (d_{F_1}, d_{F_2}, \dots, d_{F_N}) \right. \\ \left. D_{F_1} \cdot D_{F_2} \cdot \dots \cdot D_{F_N} \right\}, \text{ wobei } d_{F_n} \in D_{F_n}$$

gelte.

Wir übertragen diesen Gedankengang von allgemeinem Erkenntniswert auf unsere hochaggregierte Betrachtung der strategischen Spielräume der Akquisitions- und Investitionspolitik. Die in diesem Zusammenhang zu untersuchenden Infrastrukturalternativen werden durch die nachfolgenden entscheidungsrelevanten Freiheitsgrade dargestellt:

- Die Soll-Investitionsvolumina INV_k der einzelnen Haupt-

kostenstellen k ($k = 1, \dots, K$) in GE. Hierbei repräsentiere k eine große, prozeßtechnologisch homogene Fertigungseinheit, wie z.B. Gießerei, Preßwerk usw.

- Die Wertschöpfungsanteile AH_j in den verschiedenen Konstruktionsgruppen j ($j = 1, \dots, J$), welche hausintern zu erbringen sind. j symbolisiere dabei eine große, produkttechnologisch homogene Fahrzeugkomponente, wie z.B. Elektronik, Getriebe, Motor, Fahrwerk u.ä.m.

Hieraus ist unschwer abzuleiten, daß unser Entscheidungskalkül insgesamt

$$N = K + J$$

verschiedene echte Freiheitsgrade der Planung aufweist, die wir nachfolgend als Entscheidungsvariablen bezeichnen wollen. Diese spannen einen Entscheidungsraum der Gestalt

$$|E| = \left\{ (d_{F_1}, \dots, d_{F_K}, d_{F_{K+1}}, \dots, d_{F_{K+J}}) / \right. \\ \left. (d_{F_1}, \dots, d_{F_K}, d_{F_{K+1}}, \dots, d_{F_{K+J}}) \in \right. \\ \left. D_{F_1} \cdot \dots \cdot D_{F_K} \cdot D_{F_{K+1}} \cdot \dots \cdot D_{F_{K+J}} \right\}$$

auf, der uns die kombinatorische Vielfalt von

$$|E| = |D_{F_1} \cdot \dots \cdot D_{F_K} \cdot D_{F_{K+1}} \cdot \dots \cdot D_{F_{K+J}}| = \\ = |D_{F_1}| \cdot \dots \cdot |D_{F_K}| \cdot |D_{F_{K+1}}| \cdot \dots \cdot |D_{F_{K+J}}|$$

potentiell wählbaren Aktionspaketen zur Option stellt.

Somit wird deutlich, daß eine Sukzession von kogruppen- bzw. kostenstellenspezifisch isoliert getroffenen Akquisitions- und Investitionsentscheidungen niemals zu einer global optimalen strategischen Entscheidung im Sinne der Bereitstellung der via Produkt-Markt-Strategie vorgesehenen Stückzahlen der einzelnen Modellbaureihen zu minimalen Kosten führen kann. Nur bei der ersten Einzelentscheidung, etwa bei der Festlegung des optimalen Autarkiegrades AH_j der Kogruppe j , hat der Entscheidungsträger sämtliche $/E/$ Freiheitsgrade zur freien Auswahl. Mit jeder weiteren Entscheidung beraubt er sich eines Großteils dieser Optionen, da fälschlicherweise keinerlei produkt- und prozeßtechnologische Interdependenzen unterstellt werden.

Unter dem Eindruck dieser Argumentation scheint es also mehr als gerechtfertigt, die Forderung nach einer umfassenden, strategischen Simultanplanung zu erheben. Simultanes Planen legt den Grundstein für simultanes Entscheiden. Letzteres wiederum ist zur vollständigen Nutzung aller verfügbaren Freiheitsgrade ein absolutes Maß. Trotzdem muß im Rahmen der nachfolgenden Untersuchung noch erörtert werden, ob die oben definierten Elemente unseres Entscheidungsraumes tatsächlich, wie postuliert, echte Freiheitsgrade der Planung offerieren. Es ist m.a.W. zu klären, ob keine etwaigen Abhängigkeiten (nicht-)linearer Art zwischen den Ausprägungen der einzelnen Entscheidungsvariablen auftreten können. Ist dies der Fall, müssen wir die Mächtigkeit des Entscheidungsraumes E auf echt planbare Alternativen reduzieren.

Wir haben uns bei der Festlegung der potentiell durchführbaren strategischen Aktionsprogramme der Akquisitions- und Investitionspolitik orientiert an der Zwecksetzung eines

Industriebetriebes schlechthin: Der Erstellung einer betrieblichen Leistung, der Erzeugung von Wertschöpfungen, die in ein marktllich verwertbares Endprodukt stufenweise eingehen. Da wir gleichzeitig strategische Investitionsplanung mit dem Ziele der Ermittlung von Investitionsmittelallokationen betreiben, die über einen exakt fixierten Zeitraum hinweg in globalem Sinne optimal sein sollen, dürfen wir die Notwendigkeit der Erhaltung und/oder Vergrößerung des Betriebsvermögens per Investition in maschinelle Anlagen und Sonderbetriebsmittel nicht nur als Ausfluß der genannten ureigensten Aufgabe einer im Betrieb der Industrie angesiedelten Betriebswirtschaft sehen. Mit anderen Worten: Wir müssen sowohl den Vektor aller potentiellen Investitionsentscheidungen, wie auch die Aufteilung der insgesamt zu erstellenden betrieblichen Leistungen (Wertschöpfungen) auf interne und externe Wertschöpfungsquellen zum Gegenstand bzw. materiellen Inhalt der uns gegebenen Handlungsmöglichkeiten erheben. Dies ist zu begründen mit der realistischen, nach unserem Dafürhalten jedoch wenig sinnvollen Möglichkeit, die Aktionsparameter dieser beiden strategischen Wirkungskreise unabhängig voneinander zu fixieren. Selbstverständlich ergeben sich aus der Wahl entsprechender kogruppenspezifischer Eigenfertigungs- bzw. Fremdbezugsanteile in logisch-folgerichtiger Weise korrespondierende optimale Zuwächse an Betriebs- und Sonderbetriebsmitteln in den Hauptkostenstellen. Andererseits besitzt auch der Umkehrschluß uneingeschränkte Gültigkeit, so daß die Aktions- und Entscheidungsdirektiven in der anderen Richtung verlaufen, weswegen eine ganzheitliche Betrachtung beider Wirkungskreise notwendig erscheint. Demzufolge bietet die dem Entscheidungsraum innewohnende Handlungsvielfalt ein realistisches Bild der realitären Wirkungszusammenhänge, so daß eine Reduktion der Anzahl möglicher Aktionsprogramme unnötig wird.-

Grundsätzlich betrachtet, stehen wir nunmehr vor der nachfolgenden Entscheidung bzw. Option:

Interessieren wir uns ausschließlich für die Ermittlung eines Investitionsprogramms, sowie des resultierenden Anlagebestandes nebst zugehöriger Verteilung des Wertschöpfungsspektrums der Fahrzeugkomponente auf externe und interne Fertigungseinheiten, wie sie am Ende des Planungshorizonts im Sinne unseres Entscheidungskriteriums optimal wären, dann würde uns die Formulierung eines einfachen statischen Modellsystems, dessen zeitunabhängige Infrastrukturkonzeptionen weiter oben bereits beschrieben sind, völlig genügen. Wollen wir hingegen die optimale zeitliche Entwicklung (Zeitpfad) eines daher in summa über alle Teilperioden des Planungszeitraums hinweg optimalen Fertigungs- und Investitionsprogramms näher studieren (der "Stichzeitpunkt" der Betrachtung sei dabei jeweils das Jahresende), so sind wir gezwungen, auf eine dynamische Modellformulierung, bzw. eine Modellstruktur zu recurieren, welche der einer dynamischen Ausgestaltung äquivalent ist.

Tatsächlich werden wir uns für die letztgenannte Alternative entscheiden. Dabei soll, wie gerade angedeutet, eine Modellkonstruktion zum Zuge kommen, welche, materiell betrachtet, wie gewünscht von dynamischer Natur ist, aber trotzdem, von einer formellen Warte aus betrachtet, in statischer Weise gehandhabt werden kann. Vermöge einer solchen Konstruktion können wir auf das schwerfällige Instrumentarium der dynamischen Optimierung zum Zwecke der Auswertung unseres Modellsystems verzichten und, je nach Typus der für die Systemvariablen gültigen mathematischen Verknüpfungsvorschriften, auf die einschlägigen Verfahren der (nicht-)linearen Programmierung zurückgreifen. Diese (erhebliche) rechentechnische Vereinfachung ist jedoch mit

einem beachtlichen Anstieg der Anzahl echter Entscheidungsvariablen zu "bezahlen", die nunmehr im Kalkül zu berücksichtigen sind. Die Erörterungen des nächsten Abschnittes werden sich jedoch nicht ausschließlich mit dieser, der Dynamisierung des Entscheidungsraumes innewohnenden Problematik auseinandersetzen.

2.2.3. Dynamisierung des Entscheidungsraumes unter Beachtung problemlösungstechnischer (EDV-mathematischer) Restriktionen

Im letzten Abschnitt ist bereits angeklungen, daß eine dynamische Formulierung unseres strategischen Entscheidungsproblems, so elegant eine solche explizite Berücksichtigung zeitlicher Strukturen auch sein mag, nicht empfehlenswert ist. Dies ist vor allem mit der Tatsache zu begründen, daß die Rekursions- und Fortschreibungssysteme der dynamischen Optimierung zu rechenintensiv sind und deshalb vor der Fülle zu belegender Entscheidungsvariablen sowie modellendogen zu berücksichtigender Restriktionen, wie sie für die betriebliche Praxis und selbstverständlich auch für die vorstehende Problematik charakteristisch ist, kapitulieren müssen. Zudem existiert nur ein mageres Spektrum bereits vollständig programmierter Fassungen der Bellman'schen Optimalitätsprinzipien, auf die bei der Erarbeitung von Routinen zur EDV-gerechten Auswertung des strategischen Modellsystems recurriert werden könnte.

Aus den genannten Gründen greifen wir zu einer Modellformulierung, welche zwar die Zeit ausdrücklich zu einem wesentlichen Modellbestandteil erhebt, jedoch mit herkömmlichen Methoden der statischen Optimierung auswertbar bleibt.

Eine auf diese Weise dynamisierte Modellstruktur benötigt jedoch zeitorientierte Infrastrukturkomponenten, die durch folgende Freiheitsgrade der Planung umschrieben werden:

- Die den Hauptkostenstellen k ($k = 1, \dots, K$) während der Teilperiode t ($t = 1, \dots, 6$) zu allozierenden Investitionsvolumina INV_{kt} in GE, sowie
- die in den Kogruppen j ($j = 1, \dots, J$) während t intern zu erbringenden Wertschöpfungsanteile AH_{jt} .

Demzufolge umfaßt unser Entscheidungskalkül nunmehr insgesamt

$$T \cdot N = T (K + J), \text{ wobei } T = 6$$

echte Entscheidungsvariablen, welche einen explizit zeitbezogenen Entscheidungsraum $|E_T|$ der Mächtigkeit

$$|E_T| : = T \cdot |E| = 6 \cdot |E|$$

aufspannen. Welche Vielfalt möglicher Handlungsalternativen hierdurch gestattet wird, kann erst eine Spezifizierung der Parameter J (Gesamtzahl zu berücksichtigender Fahrzeugkomponenten) sowie K (Anzahl entscheidungsrelevanter Hauptkostenstellen) offenbaren. Diese Wertzuweisungen sollen jedoch erst im nachfolgenden Kapitel erfolgen.

Uns bleibt in diesem Zusammenhange der Hinweis, daß es eine Fülle adäquater linearer und auch nichtlinearer Problemlösungstechniken gibt, die in der Lage sind, die Veränderungen eines Entscheidungsraumes der oben dargestellten Mächtigkeit mit entsprechenden Werten zu versehen. Zum Teil liegen diese Algorithmen bereits in programmierter Form vor (ALGOL, FORTRAN, PL1). Selbstverständlich sind solche Verfahren bei der Auswahl einer geeigneten mathematischen Auswertungsmethode wegen der damit verbundenen Arbeitersparnis zu präferieren. Entsprechende Erörterungen diesbezüglich sind im Kapitel 3 nachzulesen.

Trotzdem können sinnvolle Maßnahmen zur Reduktion des oben beschriebenen Entscheidungsraumes E_T , der bei statischer Formulierung der zugrundeliegenden dynamischen Problemstellung, wie beschrieben, auf $T \cdot (J + K)$ Entscheidungsvariablen abzubilden ist, durchaus empfehlenswert sein. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn nichtlineare Modellrelationen auftreten (worüber das nächste Kapitel endgültig Aufschluß geben wird). Die Verfahren der nichtlinearen Optimierung sind bekanntlicherweise in der Lösung sehr großer Problemstrukturen weitaus weniger effizient als vergleichbare lineare Methoden, was sich vor allem in teilweise unvertretbar hohen Rechenzeiten äußert. Wir stellen deshalb bereits an dieser Stelle den nachfolgenden zulässigen und überdies sinnvollen Vorschlag zur Reduktion des Entscheidungsraumes E_T zur Diskussion.

Bereits an früherer Stelle wurde darauf hingewiesen, daß die verantwortlichen Entscheidungsträger eine monoton verlaufende zeitliche Entwicklung der intern bzw. extern zu erbringenden kogruppenspezifischen Wertschöpfungsanteile wohl eher begrüßen als einen entsprechenden oszillativen Verlauf während der Planungsperiode. Hieraus zogen wir den Schluß, daß man die Anteilswerte, ausgehend von bestimmten Startwerten AH_{j0} ($0 \leq AH_{j0} \leq 1$, $\forall_j = 1, \dots, J$) sukzessive hochfahren oder aber verkleinern wird. Prinzipiell könnte man nunmehr dem Entscheidungsträger die Möglichkeit, am Ende jeder Periode t ($t = 1, \dots, 6$) über sein gewünschtes AH_{jt} ($\forall_j = 1, \dots, J$; $t = 1, \dots, 6$) zu befinden, nahezu vollständig entziehen, indem man die für die Zeiträume $t = 1, 2 \dots T - 1$ festzulegenden Werte der AH_{jt} schlicht als lineare Kombination der entsprechenden Initialwerte AH_{j0} mit den zugehörigen Zielwerten AH_{jT} zwingend fixiert.

Eine derartig drastische Reduktion des dynamisierten Entscheidungsraumes E_T ist jedoch keinesfalls wünschenswert. Obwohl ein Entscheidungsträger mit Sicherheit um ein gewisses Maß an Stetigkeit und Stabilität sowohl in der Entwicklung der Handelsvolumina mit externen Zulieferern, als auch im Wachstum des internen Betriebsvermögens bemüht ist, wird er sich doch einige Freiheitsgrade mehr wünschen hinsichtlich der Möglichkeiten einer Beeinflussung der Geschwindigkeit, mit der eine solche Entwicklung zu realisieren ist.

Wir werden diesem Wunsch dadurch explizit Rechnung tragen, daß wir den Entscheidungsträgern, per Halbierung des Planungshorizonts, Empfehlungen unterbreiten werden bezüglich der Höhe der genannten Soll- bzw. Zielanteilstwerte

- nach Ablauf von $T/2$ Planungsabschnitten sowie
- am Ende des Planungshorizonts T .

Alle weiteren Wertzuweisungen an die restlichen Felder der Matrix $[AH_{jt}]$ des Entscheidungsraumes E_T ($\forall j = 1, \dots, J; t \in T/2, T$) lassen sich dann linear aus den genannten Zielwerten rekonstruieren.

Gemäß dieser Vorgehensweise können wir uns auf den Ansatz von

$$2 \cdot (K + J)$$

originären Entscheidungsvariablen beschränken, falls dies aus EDV-mathematischen Gründen erforderlich wird. -

Wir verfügen jetzt über ein Spektrum von Handlungsalternativen (X), deren Ergebnisse bezüglich des Entscheidungskriteriums (E) meßbar gemacht werden können. Der realitär eintretende Systemzustand ist aber keineswegs nur von der Auswahl der Entscheidungsalternativen bestimmt, sondern auch sehr wesentlich von der Konstellation und den Ausprägungen

der ziel- und handlungsrelevanten Umweltfaktoren (Y) abhängig. Es gilt jetzt, Hand in Hand mit der Festlegung der Modellstrukturen, solche Umweltparameter zu identifizieren, auszuwählen und exakt zu beschreiben. -

2.3. Konstruktion und Validierung des strategischen Entscheidungsmodells

Unter der Annahme bestimmter Umweltbedingungen Y können wir nunmehr die Modellbausteine "Entscheidungskriterium E" und "Handlungsalternativen X " durch eine Modellrelation der Form

$$E = F (X, Y)$$

verknüpfen. Die Spezifizierung dieser funktionalen Beziehung "F" durch einen möglichst geschlossenen mathematischen Ausdruck ist mithin als Aufgabe der Modellkonstruktion im engeren Sinne zu bezeichnen (Abschnitt 2.3.1.).

Nach abgeschlossener Spezifizierung ist die gewonnene Erklärungshypothese zu erhärten (Modell-Eichung). Ist sie hierbei keiner Falsifizierung zugänglich, kann insbesondere als gesichert gelten, daß die im Entscheidungskalkül berücksichtigten (zielrelevanten) Umweltparameter für die Bewältigung des realen Entscheidungsproblems von Relevanz sind (Kapitel 2.3.3.).

Als Aufgabe der Modellkonstruktion im weiteren Sinne soll auch die Formulierung von Relationen verstanden werden, die während des Prozesses der Findung optimaler oder auch satisfizierender Werte der Zielfunktion als permanente obere (untere Schranken für den hierbei verfügbaren Bewegungsspielraum fungieren. Diese Relationen sind im Restriktionssystem des Entscheidungskalküls zusammengefaßt (vgl. Abschnitt 2.3.2.).

Im letzten Teilabschnitt dieses Kapitels seien schließlich Möglichkeiten zur EDV-gerechten Auswertung des auf nicht-linearen Modellrelationen aufgebauten Basismodellkonzepts diskutiert. Neben der Erörterung des Für und Wider einer Linearisierung der Modellstruktur zwecks Anwendung konventioneller, aber leistungsfähiger linearer Programmieretechniken findet sich hier auch eine abschließende kritische Bewertung des vorgestellten theoretischen Modellkonzepts.

2.3.1. Die Auswahl zielrelevanter Umweltfaktoren und Formulierung der Erklärungshypothese

"Ein Modell ist in jedem Fall ein vereinfachtes Abbild einer komplizierten Wirklichkeit. Das Modell abstrahiert also von vielen Eigenschaften des Realsystems und beschränkt sich im Idealfall auf die für eine bestimmte Entscheidungssituation wesentlichen Attribute. In der Abstraktion liegt gerade die Stärke, wenn auch gleichzeitig die Gefahr eines Modells. Würde nicht kräftig abstrahiert, so verlöre das Modell seinen Sinn: Man könnte sich dann ebenso gut oder besser direkt mit der Realität befassen" (Hanssmann 1978, a.a.O., S. 74).

Hieraus können wir schlußfolgern, daß das unserem realen Entscheidungsproblem zugrundeliegende reale System und dessen Eigenschaften am besten durch abstrakte mathematische Symbole darzustellen sei ("symbolisches Modell"). Diese seien nun nachfolgend formell sowie inhaltlich erläutert.

Wir beginnen mit der Beschreibung der von uns zu untersuchenden Infrastrukturkonzeptionen, die bereits im Rahmen der Ausführungen des Abschnitts 2.2. Gegenstand profunder Betrachtungen waren. Diese Beschreibung soll gemäß allge-

mein üblicher Konventionen durch Entscheidungsvariable erfolgen. Zu diesem Zwecke sind zunächst folgende Indices zu definieren: Sei

- i ... der Index der Fahrzeugtypen, die während des Planungszeitraums T gefertigt werden. i besitze den Wertebereich $i = 1, 2 \dots I$, wobei ausschließlich natürliche Zahlen zur Debatte stehen.
- j ... der Index der Ko(nstruktions-)gruppen, also größer, produkttechnologisch homogener Fahrzeugkomponenten. Es gilt:
 $j = 1, 2 \dots J, j \in \mathbb{N}$.
- k ... der Index der (Haupt-)kostenstellen, welche große, prozeßtechnologisch homogene Fertigungseinheiten (bzw. -bereiche) repräsentieren. Dabei habe k den Wertevorrat $k = 1, 2 \dots K$ mit $k \in \mathbb{N}$.
- m ... der Index der Lebensdauerklasse, in die bestimmte maschinelle Anlagen gemäß ihrer (als bekannt vorauszusetzenden) erwarteten durchschnittlichen (wirtschaftlichen, d.h. betriebsgewöhnlichen) Nutzungsdauer einzuordnen sind. Die Einführung solcher Lebensdauerklassen kann mit der Notwendigkeit des Abgleichs ungleichmäßiger Altersstrukturen (Reinvestitionszyklen) sowie unterschiedlicher Abschreibungssätze begründet werden.
 m besitze den Wertebereich $m = 1, 2 \dots M$ [Jahre], wobei $m \in \mathbb{N}$.
- a ... der Index des faktischen Lebensalters bestimmter Anlagen- bzw. Maschinentypen. Es gilt
 $a = 1, 2 \dots A$ [Jahre], wobei a stets der Menge der natürlichen Zahlen entnommen werde.

Insbesondere sei auch die Beziehung

$a = 1, \dots, m, \forall a = 1, \dots, A$ sowie $m = 1, \dots, M$

unterstellt. Selbstverständlich kann in der betrieblichen Realität der Fall eintreten, daß maschinelle Anlagen länger zu Fertigungszwecken genutzt werden, als dies ihrer a-priori taxierten mittleren Lebenserwartung entspricht ($a > m$, für ein $(a, m) \in \{1, 2, \dots, A\} \times \{1, 2, \dots, M\}$). Trotzdem können wir es uns nicht erlauben, Ausnahmefälle kraft expliziter Berücksichtigung im Entscheidungskalkül zur Regel zu erheben. Dies würde die Robustheit der hier ermittelten ersten strategischen Stoßrichtungen in Frage stellen. Im Vorgriff auf die Ausführungen des Kapitels 4.1.4. sei bereits an dieser Stelle erwähnt, daß die den Aufzeichnungen der Anlagenbuchhaltung entnommenen Werte für die betriebsgewöhnlichen Nutzungsdauern der betrachteten Betriebsmittel im Wege einer einfachen Regressionsanalyse auf ihre faktische Gültigkeit hin retropektiv zu testen sind. Anhand der tatsächlichen Anlagenfluktuationsraten, wie sie für die Vergangenheit charakteristisch sind, lassen sich dann zwar auf approximative Weise ermittelte, aber weitaus realistischere mittlere Lebenserwartungen für die zur Debatte stehenden Fertigungspotentiale berechnen. So können uns empirisch gewonnene Erkenntnisse bei der effektiven Besetzung der Lebensdauerklassen m ($m = 1, \dots, M$) durchaus behilflich sein. -

Mit dem oben dargelegten symbolischen Instrumentarium ausgestattet, können wir übergehen zur endgültigen formalen Definition unserer Entscheidungsalternativen:

AH_{jt} ... sei der bezüglich Konstruktionsgruppe j in t anzustrebende Anteil der im Hause zu erbringenden Wertschöpfung an der entsprechenden Kogruppen-Totalwertschöpfung, die aus den von der Produkt-Markt-Strategie vorgesehenen Stück-

zahlen abzuleiten ist.

Dieses Infrastrukturelement bietet uns insgesamt $J \cdot T$ echte Freiheitsgrade der Planung. Die maximale Anzahl J zu berücksichtigender homogener Kfz-Komponenten wurde im Rahmen einer umfangreichen Systemanalyse, die sich selbstverständlich auch des Sachverstandes der betroffenen Fachstellen bediente, auf 20 beziffert. Demzufolge sind in diesem Zusammenhange $J \cdot T = 20 \cdot 6 = 120$ originäre Entscheidungsvariablen mit adäquaten Zielwerten zu versehen, wenn wie bekannt, ein Planungshorizont von $T = 6$ Jahren zugrundegelegt wird.

INV_{kt}^m ... seien die in der Teilperiode t zu leistenden Ausgaben für Ersatz- und/oder Neubeschaffung von maschinellen Anlagen der Lebensdauerklasse m , bewertet zu Anschaffungspreisen der erforderlichen Betriebsmittel bei konstantem Geldwert des Basisjahres. Diese Investitionsvolumina sind in den jeweiligen Hauptkostenstellen k produktiv zu nutzen. Dabei gelte stets $INV_{kt}^m \geq 0$ ($\forall (t, k, m)$).

Da die in diesem Zusammenhange betrachteten periodisierten Aufwendungen aus weiter oben genannten Gründen auf verschiedene Klassen der Lebenserwartung heruntergebrochen werden müssen, involviert dieses Infrastrukturkonzept die M -fache Anzahl der ursprünglich (im Rahmen des Kapitels 2.2.) hierfür veranschlagten Entscheidungsvariablen. Insgesamt stehen nun $M \cdot K \cdot T$ entscheidungsrelevante Veränderliche zur modellendogenen Belegung an. Zum Zwecke der Gewinnung einer ersten Orientierung über

die zu bewältigenden Problemumfänge seien die Systemparameter M und K auf Basis entsprechender Erkenntnisse der Orientierungsphase wie folgt spezifiziert:

- Die maximal realisierbare, mittlere wirtschaftliche Nutzungsdauer bestimmter maschineller Anlagen kann mit etwa 20 Jahren veranschlagt werden. Dieser Wert ergab sich aus einem intensiven Studium der Anlagenfluktuation in bestimmten, als repräsentativ erachteten Anlagenkontengruppen unseres Unternehmens, wie sie für die zurückliegenden 25 Jahre charakteristisch war.

Da wir jedoch lediglich einen Planungshorizont von $T = 6$ Jahren vorgegeben haben, kann auf eine derartig detaillierte, weit in die Zukunft projizierte Ausgestaltung der (von uns regressionsanalytisch ermittelten) Lebensdauerklassen verzichtet werden. Maschinelle Anlagen, für die zu Beginn des Planungszeitraumes T die Beziehung

$$m - a \geq 6 = T$$

uneingeschränkte Gültigkeit besitzt, werden allesamt der Nutzungsdauerkategorie $m = 7$ zugeordnet, da sie während der Planperiode mithin keine Kandidaten für Ersatzbeschaffungen sein können. Alle anderen Anlagentypen mit einer mittleren Lebenserwartung von mehr als 6 Jahren, mithin solche, deren Restlebensdauer vor oder mit Ablauf des Planungshorizonts endet, sind auf die Klassen $m = 1, \dots, 6$ in entsprechender Weise zu verteilen. Hierbei wird also eine lineare Transformation der durchschnittlichen Gesamtnutzungsdauer auf die erwartete restliche Anlagenlebensdauer erwirkt, was natürlich, jeweils zu Beginn einer neuen Planperiode, eine diesbezügliche Nebenrechnung erforderlich macht. Zusammenfassend kann eine Spezifizierung des maximalen

Wertes zu betrachtender Lebensdauerkategorien mit dem Werte 7 als sinnvoll und problemangemessen beurteilt werden.

- Des weiteren kann die Gesamtanzahl der im Entscheidungskalkül zu betrachtenden, prozeßtechnologischen Fertigungseinheiten, in Übereinstimmung mit den zu Rate gezogenen Experten der Fachstellen, mit dem Werte $K = 10$ beziffert werden. Hierbei sind sinnvollerweise nur die wichtigsten, sprich kostenträchtigsten Fertigungsbereiche des Unternehmens berücksichtigt, die zudem einen Mammutanteil des gesamten betrieblichen Investitionsvolumens auf sich vereinigen können.

Abschließend kann festgehalten werden, daß uns das Infrastrukturelement INV_{kt}^m ein Spektrum von maximal

$$M \cdot K \cdot T : = 7 \cdot 10 \cdot 6 = 420$$

Entscheidungsvariablen bietet. Die Gesamtanzahl der entscheidungsrelevanten Veränderlichen beläuft sich somit, unter Berücksichtigung aller planerischen Freiheitsgrade, auf entsprechend

$$J \cdot T + M \cdot K \cdot T = T (J + M \cdot K) = 6 \cdot (20 + 7 \cdot 10) = \underline{\underline{540}}$$

Variablen. Dieser Wert kann im Laufe der Erörterungen dieses Abschnittes eine geringfügige Veränderung erfahren, wenn auch nur aus rein formalen Aspekten.

Im folgenden werden wir uns nun der eigentlichen Präsentation der Erklärungshypothese widmen. Erst wenn die Modellstrukturen festliegen, können wir letztendlich beurteilen, ob die (nicht etwa exorbitant hohe) Zahl von etwa 540 Entscheidungsvariablen irgendwelche Probleme im Zusammenhange mit einer EDV-konformen Auswertung des Modellsystems induziert.

Gemäß unseres Entscheidungskriteriums sind die in diesem Zusammenhange beeinflussbaren zusätzlichen Kosten (K) der intern sowie extern zu erbringenden Wertschöpfungen zuzüglich der Investitionsaufwendungen in (Sonder-)Betriebsmittel über einen Planungshorizont der Mächtigkeit $T = 6$ [Jahre] zu minimieren. Es gilt:

$$K = \sum_{t=1}^T K_t$$

sei ein Minimum bezüglich der Entscheidungsvariablen AH_{jt} und INV_{kt}^m , wobei K_t den Wert des weiter oben definierten Entscheidungskriteriums in der Teilperiode t symbolisiere [GE]. Wir erklären nun K_t zu

$$\underline{\underline{K_t : = KW_t + ABS_t \quad , \text{ wobei}}}$$

KW_t ... die gesamten (entscheidungsabhängigen) Kosten der Wertschöpfung in t umfasse [GE] .

ABS_t ... die auf Periode t umzulegenden Abschreibungen auf Betriebs- und Sonderbetriebsmittel beinhalte, welche zum Zwecke der hausinternen Fertigung der bezüglich aller Fahrzeugkomponenten j ($j = 1, \dots, J$) zu erbringenden Wertschöpfungsbeträge in den Planungsabschnitten t ($t = 1, \dots, T$) zwingend verfügbar sein müssen.

Eine weitergehende Beschreibung der oben kurz umrissenen Kostenkomponenten der Zielfunktion sei nun den nachfolgenden Teilabschnitten vorbehalten, denen sich eine übersichtliche, zusammenfassende Darstellung der Erklärungshypothese unseres Modellsystems anschließen soll.

2.3.1.1. Die entscheidungsabhängigen Kosten der Wertschöpfung in den Konstruktionsgruppen

Zunächst wollen wir die beeinflussbaren, auf eine bestimmte Teilperiode entfallenden Aufwendungen für Wertschöpfungen der Gattung j in ihre beiden wesentlichen Komponenten aufspalten. Zu diesem Zwecke definieren wir KW_t zu

$$KW_t = \sum_{j=1}^J (WE_{jt} + WF_{jt}), \text{ wobei}$$

WE_{jt} ... die effektiven variablen Fertigungskosten in der Konstruktionsgruppe j bezüglich t umschreibe, mithin die entsprechende, während t tatsächlich im Hause erbrachte Wertschöpfung symbolisiere $[GE]$.

Dieser Kostenbetrag wurde im ersten Kapitel dieser Präsentation mit dem Begriff "Internwertschöpfung" umschrieben.

WF_{jt} ... die gesamten Bezugskosten der Fremtteile in Konstruktionsgruppe j bezüglich t umfasse, also die in t durch Zukauf von Komponenten gedeckte Wertschöpfung der Gattung j vertrete $[GE]$.

Die beiden Größen WE_{jt} und WF_{jt} sind ihrerseits ($\mathcal{W}(j,t)$) einer weiteren Untergliederung zugänglich:

1. WE_{jt} sei definiert zu

$$WE_{jt} := AH_{jt} \cdot \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K w_{it}^{jk} \cdot S_{it}. \text{ Dabei repräsentiere}$$

w_{it}^{jk} ... den pro Fahrzeug der Baureihe i für die Erzeugung der j -ten Kfz-Komponente in Fertigungseinheit k anfallenden variablen Fertigungskosten bei vollstän-

diger Hausfertigung der in Teilperiode t zu erbringen-
den Wertschöpfung $[GE]$. Es sind die Parameter, die
sich durch geeignete Transformationen von Datenmateria-
lien der Kostenrechnung einerseits sowie den Bezugs-
artenanalysen der operativen Planung andererseits ent-
nehmen lassen (hierzu mehr an späterer Stelle).

S_{it} ... die laut Stückliste (Ausfluß der Produkt-Markt-
politischen Aktivitäten) während t zu fertigenden
Stückzahlen der Baureihe i $[ME]$.

Summiert man die Gesamtheit der zielrelevanten Umweltpara-
meter w_{it}^{jk} über alle Hauptkostenstellen k ($k = 1, \dots, K$),
so erhält man die pro Einheit des Fahrzeugtyps i bezüglich
der Technologiekomponente j während t hausintern und extern
aufzuwendenden Gesamtkosten der Wertschöpfung. Multipli-
ziert man diesen Wert mit den periodengleichen Stückzahlen
 S_{it} der i -ten Baureihe unter anschließender Summation über
ebendiese Fahrzeugtypen i , so resultieren die gesamten
variablen Fertigungskosten der Technologiegruppe j in
Teilperiode t , gemessen in $[GE]$. Dieser Wert ist letzt-
endlich mit dem geplanten Hausfertigungsanteil für Kon-
struktionsgruppe j in t (AH_{jt}) zu vervielfachen, um die
während t effektiv im Hause zu leistende Wertschöpfung
(WE_{jt}) zu erhalten.

In ganz analoger Weise lassen sich dann die in t anfallen-
den Bezugskosten für Zukaufteile der Gattung j (WF_{jt}) be-
stimmen.

2. WF_{jt} sei erklärt zu

$$WF_{jt} := F_{jt} \cdot (1 - AH_{jt}) \cdot \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K w_{it}^{jk} \cdot S_{it}, \text{ mit}$$

$$F_{jt} := F_{j0} (AH_{jt}).$$

Die gesamten, für den produkttechnologisch homogenen Konstruktionsbereich j während t aufzuwendenden variablen Fertigungskosten

$$\sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K w_{it}^{jk} \cdot S_{it}$$

werden multipliziert mit dem für t geplanten Fremdbezugsanteil in Technologiegruppe j ($1-AH_{jt}$). Aus dieser Operation ergibt sich die (in Geldeinheiten bewertete) fremdzubeziehende Wertschöpfungssumme der Gattung j zu Hauspreisen der Periode t . Selbstverständlich ist dieser Betrag hochzurechnen auf die tatsächlichen Kosten des Bezugs der entsprechenden Leistung vom Markt. Dies läßt sich bewerkstelligen durch Multiplikation des letztgenannten Terms mit geeigneten Mehr- bzw. Minderkostenfaktoren F_{jt} ($\star(j,t)$). Dabei hängen diese Zuschlagssätze zentral vom Anteil der Haus- bzw. Fremdfertigung ab, der für die jeweilige Teilperiode t in der betrachteten Konstruktionsgruppe j angestrebt wird. Diese Interdependenz sei nachfolgend unter Berücksichtigung der hiermit verbundenen Probleme der Datenbeschaffung detailliert erörtert und durch das Schaubild der Abb.6 visuell kenntlich gemacht.

Aus den bisherigen Ausführungen dieses Abschnitts geht klar hervor, daß wir einen sicherlich recht ungewöhnlichen Weg der Spezifizierung interner (externer) Wertschöpfungsbeträge gewählt haben. Die Erfahrung lehrt, daß die Theorie immer dann außerordentliche Kimmzüge machen muß, wenn ihr die betriebliche Praxis (und deren besondere Eigenheiten) große Steine in den Weg legt, die sich vordergründig in Gestalt von Hürdenläufen bei der Jagd nach den benötigten Inputdaten bemerkbar machen. Deshalb

ist bereits bei der Festlegung der Modellstrukturen auf deren realitäre Verfügbarkeit großer Wert zu legen. Leider bleibt uns in Ermangelung adäquater Datenmaterialien eine geradlinigere Art und Weise der Problemlösung verwehrt.

Im Mittelpunkt des Problems der Beschaffung modellrelevanter Inputdaten steht die geeignete Spezifizierung der Kostenparameter w_{it}^{jk} ($\forall (t,j,k,i)$). Hierzu sind vor allen Dingen Informationsmaterialien des operativen Planungsbereichs zu verarbeiten. Es sind dies zum einen die für unsere Zwecke höchst aufschlußreichen Statistiken der Bezugsartanalytiker, sowie zum anderen die auf Einzelteilebasis organisierten Datenbestände der Kalkulation und des Einkaufs. Freilich können wir, angesichts einer auf der strategischen Ebene notwendigen hochaggregierten Betrachtung, nicht das gesamte Teilespektrum in unserem Kalkül berücksichtigen, welches bei einschlägigen operativen Entscheidungen in Betracht gezogen werden müßte. Im Wege einer geschichteten Stichprobe aus den entsprechenden (Teile-)Stücklisten aller J Modellbaureihen, wobei auch ggf. auf einzelne Modelle recurriert werden kann, ist eine Beschränkung des relevanten Teilespektrums auf n "wichtige" Vorprodukte durchzuführen (vgl. hierzu insbesondere Kapitel 4.1.3., wo einzelne Modalitäten des Verfahrens erläutert werden). Zu diesem Zwecke wollen wir die Grundgesamtheit von N Einzelteilen in P Klassen p aufgliedern, die nach Maßgabe der Höhe der Kostenbeträge gebildet werden sollen, welche bei der Fertigung dieser Teile in unterschiedlichem Ausmaße anfallen. Kostenintensive Vorprodukte sollen hierbei stärkere Berücksichtigung finden als vergleichsweise billig herstellbare Fertigungselemente. Letztere können deswegen nicht vernachlässigt werden, weil an-

sonsten die Gefahr bestünde, daß bestimmte Kfz-Komponenten j mit wertmäßig relativ kleinen Wertschöpfungselementen zwangsweise aus der Betrachtung eliminiert würden.

Anhand der Stücklisten lassen sich nun für jede, durch die Stichprobe auserwählte Sachnummer Informationen gewinnen bezüglich deren Kogruppenzugehörigkeit ($j = 1, \dots, J$), geplanter Einsatzmenge in der laufenden Periode ($t = 0$) sowie deren momentaner Bezugsart (Eigenfertigung oder Fremdbezug). Dann können wir

- der (prozeßkonformen) Kalkulation die kostenstellen-spezifische ($k = 1, \dots, K$) Verteilung der variablen (Haus-)Fertigungskosten derjenigen Teile aus den betrachteten Fahrzeugkomponenten j ($j = 1, \dots, J$) entnehmen, welche zu $t = 0$ (Beginn der Planperiode) in Eigenfertigung stehen.
- über die Bestände der Auswärtsteiledatenbank die Bezugskosten solcher Teile der relevanten Konstruktionsgruppen j identifizieren, die zu $t = 0$ tatsächlich vom Markt bezogen werden.

Problematisch ist dagegen die Gewinnung von Spezifikationen bezüglich der

- kostenstellenspezifischen Hauspreise momentaner Fremtteile sowie der
- Bezugskosten von Vorprodukten, die zum gegenwärtigen Zeitpunkt Hausteile sind.

Unter Benutzung der zur Bewältigung dieser Fragestellung hilfreichen Aufzeichnungen der Bezugsartanalyse des laufenden und/oder auch des vergangenen Jahres können wir hierzu folgende Lösung anbieten:

Man darf davon ausgehen, daß während der Zeitspanne eines Jahres eine genügend große Anzahl von operativen (Einzel-) Bezugsartenentscheidungen getroffen wird, so daß

- das in diesem Rahmen untersuchte Teilespektrum als repräsentative Auswahl aus der Gesamtheit aller Einzelteile gelten kann. Dies will heißen, daß hierbei Teile aus allen relevanten Konstruktionsgruppen j sowie allen von uns definierten Wertschöpfungskategorien p gleichermaßen zum Zuge kommen. Es sei in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen, daß die im Rahmen von Bezugsartanalysen der Vergangenheit analysierten Vorprodukte selbstverständlich nicht mit den Teilen übereinstimmen müssen, die wir vermöge einer geschichtet organisierten Zufallsauswahl zum Ausgangspunkt unserer Betrachtungen erheben.
- das im Rahmen dieser Analyse offenbarte Entscheidungsgebaren als übliches, maßgebliches Verhaltensmuster bezeichnet werden kann.

Wir ordnen die einer Bezugsartanalyse unterworfenen Vorprodukte den entsprechenden Kogruppen j zu. Anschließend bestimmen wir für jede dieser (baureihenspezifischen) Komponenten j alle denkbaren Kombinationen von Eigen- und Fremdfertigung der jeweils zugehörigen Teile (diskrete Betrachtungsweise) und ordnen diesen Kombinationen die nachfolgende Kennziffer zu:

$$H_{jo}^i = \frac{\frac{\sum_{F=1}^{N_{jo}} \text{FK}_{1jo}^i}{N_{jo}}}{\frac{\sum_{F=1}^{N_{jo}} \text{BK}_{1jo}^i}{N_{jo}}} = \frac{1 = N_{jo} - N_{jo} + 1}{1 = N_{jo} - N_{jo} + 1}$$

Hierbei symbolisiere

1 ... den Index der zu einer bestimmten Fahrzeug-

komponente (i,j) gehörigen Einzelteile, welche im Zuge des vergangenen und/oder des laufenden Jahres (t=0) einer Bezugsartanalyse unterworfen wurden. l sei jeweils definiert im Bereiche

$$l = 1, \dots, N_{jo} \quad , \quad \forall j = 1, \dots, J, \text{ wobei}$$

N_{jo} ... die Anzahl der in solchen Bezugsartenanalysen erfaßten Teile des Typs (i,j) zu t=0 beschreibe.

N_{jo}^F ... diejenige Zahl von Vorprodukten des Typs (i,j), welche bei einer willkürlich gewählten Aufteilung des Gesamtteilespektrums $l = 1, \dots, N_{jo}$ auf hausinterne und externe Produktionspotentiale für die Fertigungsvariante "Fremdbezug" bestimmt sind. Dabei variieren N_{jo}^H im Bereiche $[0; N_{jo}]$, wobei nur ganzzahlige Werte angenommen werden dürfen.

FK_{ljo}^i ... die gesamten variablen Fertigungskosten des l-ten Teils vom Typ (i,j) der Basisperiode $t = 0$ [GE] sowie

BK_{ljo}^i ... die gesamten, in $t = 0$ aufzuwendenden Kosten für den Bezug des Produktes (i,j) vom Markt [GE], wobei die Kostensumme $(FK_{ljo}^i + BK_{ljo}^i)$ stets auf ein Fahrzeug des Typs i, $i = 1, \dots, I$ zu beziehen ist.

Dann gibt die Kennziffer H_{jo}^i für jeden (willkürlich) gewählten Autarkiegrad

$$\frac{N_{jo} - N_{jo}^F}{N_{jo}}$$

denjenigen Faktor an, mit dem die gesamte, zugekaufte Wertschöpfungssumme

$$\sum_{l=1}^{N_{jo}^F} BK_{ljo}^i$$

der Periode $t = 0$ zu multiplizieren ist, um den korrespondierenden, zu Hauspreisen bewerteten Wertschöpfungsbetrag

$$\sum_{l=1}^{N_{j0}^F} FK_{lj0}^i$$

zu erhalten. Da es sich hierbei um kumulative Größen handelt, sind die betrachteten Teile l einer eindeutigen Reihenfolge zu unterwerfen. Wir empfehlen in diesem Zusammenhang die Ordnung des (i, j) -spezifischen Teilespektrums nach aufsteigenden $\frac{FK_{lj0}^i}{BK_{lj0}} \quad (\forall (i, j))$.

Ein kleines Musterbeispiel mag die hier dargestellten Aspekte noch einmal im Überblick veranschaulichen:

In der Periode $t = 0$ wurden $N_j = 10$ Teile i einer bestimmten Fahrzeugkomponente $(\bar{i}, \bar{j})$ einer Bezugsartenanalyse unterworfen, der wir die nachfolgenden Daten entnehmen:

Teil	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
$FK_{lj0}^{\bar{i}}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	[GE]
$BK_{lj0}^{\bar{i}}$	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1	0,9	0,8	[GE]

Wir berechnen die Größen $\frac{FK_{lj0}^{\bar{i}}}{BK_{lj0}^{\bar{i}}} \quad (\forall (i, j))$ und stellen

fest, daß die sich aus dem Primärdatenmaterial ergebende Rangfolge der einzelnen Teile l unverändert bestehen bleiben kann (3 gültige Kommastellen):

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$FK_{lj0}^{\bar{i}}$	0,588	0,625	0,667	0,714	0,769	0,833	0,909	1	1,111	1,25

Anschließend sei der anzustrebende Autarkiegrad $\frac{N_{j0}^F - N_{j0}^I}{N_{j0}^I}$ im Bereiche $[0;1]$ in diskreten Schritten von $\frac{1}{N_{j0}^I} = \frac{1}{10}$ variiert, was einer planmäßigen Veränderung des zugekauften Teilespektrums im Intervall $[N_{j0}^I; 0]$ in Schritten von jeweils einer Einheit gleichkommt. Der aufsteigend geordneten Folge von Eigenfertigungsanteilen (AH_{j0}^I) sei nunmehr eine korrespondierende Folge der kumulativen Hausfertigungskostenzuschlagssätze H_{j0}^I zugeordnet:

l im Fremdbezug	1-10	2-10	3-10	4-10	5-10	6-10	7-10	8-10	9-10	10	-
N_{j0}^F	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
$AH_{j0}^I =$ $\frac{N_{j0}^F - N_{j0}^I}{N_{j0}^I}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
H_{j0}^I	0,8	0,833	0,87	0,909	0,952	1	1,053	1,111	1,177	1,25	-

Die Berechnung der H_{j0}^I sei kurz erläutert für den Fall

$$AH_{j0}^I = \frac{N_{j0}^F - 6}{N_{j0}^I} = 0,4$$

H_{j0}^I ergibt sich hier zu

$$H_{j0}^I = \frac{\sum_{i=5}^{10} FK_{1j0}^I}{\sum_{i=5}^{10} BK_{1j0}^I} = \frac{1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1}{1,3 + 1,2 + 1,1 + 1 + 0,9 + 0,8} = \frac{6}{6,3} = \underline{\underline{0,952;}}$$

Somit ist bei einem geplanten Autarkiegrad von 40% die fremderstellte Wertschöpfungssumme von 6,3 GE mit dem Faktor 0,952 zu multiplizieren, um ein zu momentanen Hauspreisen bewertetes Äquivalent von 6 GE zu erhalten.-

Die Folge der H_{jo}^i , welche für obiges Beispiel im (AH_{jo}, H_{jo}^i) -Diagramm der Abb. 7 veranschaulicht sei, liefert jedoch definitionsgemäß nicht für jedes AH_{jo} aus $[0;1]$, wobei $AH_{jo} \in \mathbb{R}$, einen entsprechenden Hauskostenzuschlagssatz. Dies hat zur Konsequenz, daß wir nach einer adäquaten stetigen Approximation für $[H_{jo}^i]$ suchen müssen. Wie nachfolgend sowie im Rahmen der Ausführungen des Kapitels 4.1.1. noch näher zu erörtern ist, haben sich hierzu lineare (sowie mit Abstrichen auch quadratische) Ansätze als am besten geeignet empfohlen. Wir bezeichnen nunmehr H_{jo}^i als Hausfertigungskostenzuschlagsfunktion $H_{jo}^i = H_{jo}^i(AH_{jo})$ mit dem stetigen Definitionsbereich $AH_{jo} \in [0;1]$, wobei sowohl im Falle der linearen als auch im Falle der quadratischen Approximation ein monoton steigender Funktionsverlauf über den gesamten Definitionsbereich hinweg zu fordern ist. Es bleibt anzumerken, daß die Skalierung der Abszisse AH_{jo} im Wege des Terminus

$\frac{N_{jo} - N_{jo}^F}{N_{jo}}$ für die Erzielung bestmöglicher stetiger Funk-

tionszusammenhänge u.U. dann problematisch werden kann, wenn die Internwertschöpfungsbeträge FK_{ijo} der Teile 1 aus (i,j) stark streuen. In diesem Falle erscheint es wohl zweckmäßig, die jeweiligen Autarkiegrade AH_{jo} in Abhängigkeit vom Beitrag der selbsterstellten Erzeugnisse zur gesamten, in Hauspreisen bewerteten Wertschöpfung zu ermitteln. Es gelte dann

$$\left[AH_{jo} \right] = \left[\frac{\sum_{l=1}^{N_{jo}} N_{jo}^F - N_{jo}^F}{N_{jo}} \quad FK_{ljo}^i \right]$$

Im oben angeführten Musterbeispiel kann auf eine solche Berechnung verzichtet werden, da die FK_{ljo}^i allesamt vom Werte 1 GE sind. -

Wir kehren nun wieder zur Problematik der Beschaffung modellrelevanter Inputdaten zurück und setzen die diesbezüglichen Betrachtungen fort.

Vermöge des Instrumentariums der Hausfertigungskostenzuschlagsfunktionen H_{jo}^i sind wir (zumindest was die Periode $t = 0$ anbetrifft) in der Lage, die Kostenparameter w_{it}^{jk} in adäquater Weise zu spezifizieren. Hierbei sind folgende Phasen zu unterscheiden:

- Zunächst bestimmen wir mittels des funktionalen Zusammenhangs $H_{jo}^i = H_{jo}^i(AH_{jo})$ die Gesamtsumme der variablen Hausfertigungskosten solcher, der geschichteten Stichprobe vom Umfang n entnommenen Sachnummern, welche zu $t = 0$ Zukaufteile der Modellbaureihe i bezüglich der Technologiegattung j sind. Die Summe der hierzu benötigten, korrespondierenden Bezugskosten entnehmen wir, wie bereits betont, den Beständen der Auswärtsteiledatenbank.
- Wir summieren über alle J Fahrzeugmodelle i und erhalten die kumulativen, zu Hauspreisen bewerteten Wertschöpfungsbeträge für momentane Auswärtsteile der Gattung j .
- Des weiteren sei zum Zwecke einer kostenstellenspezifi-

schen Verteilung dieser Beträge angenommen, daß sie im Falle der hausinternen Erbringung in gleicher Weise auf die einzelnen prozeßtechnologisch homogenen Fertigungseinheiten k ($\forall k = 1, \dots K$) zu schlüsseln seien, wies dies für die Gesamtheit der zu $t = 0$ realiter im Hause geleisteten Wertschöpfungen der Gattung j charakteristisch ist. Die Struktur der letztgenannten Verteilung können wir den Daten der prozeßkonformen Kalkulation (daher auch der Name) entnehmen.

- Erst nach der Zusammenfassung der realitären internen Wertschöpfungen mit den extern, jetzt aber zu Hauspreisen bewerteten komplementären Kostenbeträgen bezüglich jeder Hauptkostenstelle k sowie jeder Ko-Gruppe j kann wieder zu einer baureihenspezifischen Untergliederung der Fahrzeugkomponenten j (wir sprechen in diesem Zusammenhange von "Typkogruppen") übergegangen werden. Hierzu notwendige Kenntnisse über die Typenzugehörigkeit der Wertschöpfungsbeträge w_{io}^{jk} entnehmen wir einer entsprechenden Verteilung, die auf Basis der Stichprobeninformationen sowie der baureihenspezifischen Stücklisten angefertigt werden kann.

Das Resultat dieser Transformation liefert uns schließlich die gesuchten Kostenwerte w_{io}^{jk} , mithin die pro Fahrzeug der Baureihe i für die Erzeugung der Technologiekomponente j in Kostenstelle k anfallenden variablen Fertigungskosten bei Unterstellung vollständiger Hausfertigung der in Periode $t = 0$ zu erbringenden Wertschöpfung in GE.

Freilich verfügen wir damit noch keinesfalls über entsprechende Werte für alle Teilperioden t ($T = 1, \dots T$) des Planungshorizonts. Zu diesem Zwecke wäre die Entwicklung geeigneter Hausfertigungskostenzuschlagsfunktionen H_{jt}^i

($t = 1, \dots, T$) unabdingbare Voraussetzung. Die Spezifizierung dieser Funktionen wiederum gelingt nur dann in befriedigendem Maße, wenn das Datenmaterial der zugrundeliegenden Bezugsartenanalysen der operativen Planung durch den Ansatz adäquater Inflationsfaktoren an zukünftige Preisniveaus herangeführt werden könnte. Dieser Schritt sei jedoch weiteren Ausbaustufen unseres Modellsystems vorbehalten, die im Rahmen des Kapitels 2.3.3. erläutert werden sollen. Aus diesem Grunde definieren wir H_{jt}^1 zu

$$H_{jt}^1 : = H_{j0}^1 (AH_{jt}), \quad \forall t = 1, \dots, T, \text{ sowie } w_{it}^{jk} \text{ zu}$$

$$w_{it}^{jk} : = w_{i0}^{jk}, \quad \forall t = 1, \dots, T.$$

Somit errechnen sich die gesamten, für den Konstruktionsbereich j während t aufzuwendenden variablen Fertigungskosten zu

$$\sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K w_{i0}^{jk} \cdot S_{it},$$

die effektiv während t im Hause verursachten Kosten der Wertschöpfung in Kogruppe j zu

$$WE_{jt} = AH_{jt} \cdot \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K w_{i0}^{jk} \cdot S_{it}, \text{ sowie}$$

die durch Zukauf von Komponenten erbrachte Wertschöpfung der Gattung j in der Teilperiode t zu

$$WF_{jt} = F_{jt} \cdot (1 - AH_{jt}) \cdot \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K w_{i0}^{jk} \cdot S_{it},$$

wobei $F_{jt} = F_{j0} (AH_{jt})$.

In diesem Zusammenhange ist nun die Erläuterung der Konstruktion sowie der Wirkungsweise der Mehr- bzw. Minderkostenfaktoren F_{jt} durchzuführen. Nach Einführung des Begriffs der Hausfertigungskostenzuschlagsfunktionen H_{jt}^i und der Analyse deren zentraler Bedeutung für die Ermittlung der Kostenparameter w_{io}^{jk} können die entsprechenden Erörterungen knapp ausfallen.

Während der funktionale Zusammenhang

$$H_{jt}^i = H_{jo}^i (AH_{jt}), \quad \forall j = 1, \dots, J; t = 1, \dots, T$$

letztendlich der Lösung von Problemen der Beschaffung modellrelevanter Inputdaten dient (siehe oben), ermöglicht die Einführung der Mehr-(Minder-)kostenfaktoren F_{jt}

- den Ansatz von variablen Hausfertigungskosten als einheitliches Niveau der Bewertung von Wertschöpfungen sowohl im Rahmen der Datenbeschaffung als auch in der Struktur des Entscheidungskalküls und somit
- erst die Verwendung der Autarkiegrade AH_{jt} als zentrale planerische Freiheitsgrade.

Überdies erspart die nachträgliche, in der Erklärungshypothese initiierte Korrektur der Bewertungsbasis fremdzubeziehender Wertschöpfungssummen eine im Rahmen der Datenbeschaffung durchzuführende explizite Berechnung von Fremdbezugskosten für solche Teile bestimmter Typkogruppen (i,j) , welche zu $t = 0$ selbst hergestellt werden.

Wir berechnen die Mehr-(Minder-)kostenfaktoren der Fremdfertigung F_{jt} ($\forall (j,t)$) in analoger Weise zur Bestimmung der Hausfertigungskostenzuschlagsfunktionen H_{jt}^i . Offenbar erscheint es deshalb angebracht, auch in diesem Zusammenhange von funktionalen Zusammenhängen zu sprechen. Wir prägen an dieser Stelle den Begriff der Bezugskostenkorrektur-

funktion F_{jt} , deren Ableitung auf den nachfolgenden Gesetzmäßigkeiten beruhe.

Ausgehend von Statistiken der (operativen) Bezugsartenanalyse definieren wir (auf Basis der Mengen aller ko-gruppenmäßig homogenen Einzelteile) zu allen möglichen Kombinationen der Eigen- zur Fremdfertigung der jeweiligen Teile folgenden Quotienten:

$$F_{jo} := \frac{\sum_{l=1}^{N_{jo}^F - N_{jo}} BK_{ljo}}{\sum_{l=1}^{N_{jo}^F - N_{jo}} FK_{ljo}}$$

Hierbei entspreche die verwendete Symbolik derjenigen, die bereits im Rahmen der Herleitung der geometrischen Folge $[H_{jo}^i]$ erläutert wurde. Eine Gegenüberstellung der mathematischen Bestimmungsformeln für $[H_{jo}^i]$ und $[F_{jo}]$ zeigt deutlich auf, daß letztere nicht mehr für jede der Tyko-gruppen (i,j) zu berechnen sind, sondern nur mehr für die jeweiligen großen produkttechnologisch homogenen Fahrzeugkomponenten j ermittelt werden müssen. Dies hängt damit zusammen, daß $[F_{jo}]$, kraft der durch die Erklärungshypothese vorgegebenen Modellstruktur, lediglich mit der Umbe-wertung des in $t = 0$ fremdzubeziehenden, baureihenunabhängigen Wertschöpfungsbetrages $(1 - AH_{jo}) \cdot \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K w_{io}^{jk} S_{io}$

betrachtet ist. Die explizite Berechnung von Einkaufswerten für einzelne Hausteile der Gattung (i,j) kann, wie bereits angedeutet, entfallen.

Die Kenngröße F_{jo} gibt also für jeden (willkürlich) gewählten (diskreten) Autarkiegrad $\frac{N_{jo}^F - N_{jo}}{N_{jo}}$ denjenigen

Faktor an, mit dem die gesamte, im Hause erbrachte Wert-
schöpfungssumme

$$\frac{N_{jo} - N_{jo}^F}{\sum_{l=1}^J}$$

zu vervielfachen ist, um einen adäquaten, zu Bezugsprei-
sen bewerteten Kostenbetrag

$$\frac{N_{jo} - N_{jo}^F}{\sum_{l=1}^J}$$

zu erhalten. Auch in diesem Falle handelt es sich hier-
bei jeweils um kumulierte Größen, so daß die untersuchten
Teile 1 in eine feste Rangordnung zu bringen sind, bevor
irgendwelche Prozesse der Summation ablaufen können. Wir
ordnen das j-spezifische Teilespektrum auch in diesem Zu-
sammenhange nach aufsteigenden $\frac{FK_{1jo}}{BK_{1jo}}$ ($\forall j = 1, \dots, J$).

Zur Veranschaulichung der Wirkungsweise von $[F_{jo}]$ re-
currieren wir nochmals auf die Werte des Musterbeispiels,
welches bereits bei der Erläuterung der Arbeitsweise der
Kennziffern $[H_{jo}^1]$ gute Dienste geleistet hat.

Wir bestimmen die Rangzahlen $\frac{FK_{1jo}}{BK_{1jo}}$ ($\forall j = 1$) und halten fest,
daß die einzelnen Teile 1 in eine $\frac{FK_{1jo}}{BK_{1jo}}$ der Ordnungsrelationen
der Ausgangsdaten genau entsprechende Reihenfolge zu brin-
gen sind. Sodann variieren wir wiederum den Autarkiegrad

$$AH_{jo}^- := \frac{N_{jo}^- - N_{jo}^{F-}}{N_{jo}^-} \quad \text{im Bereiche } [0; 1] \quad \text{in diskreten}$$

Schritten von $\frac{1}{N_{jo}^-} = 0,1$ und ordnen dieser Folge $[AH_{jo}^-]$

entsprechende, kumulierte Mehr- bzw. Minderkostenfaktoren
der Fremdfertigung $[F_{jo}^-]$ zu (vgl. hierzu auch Abb. 8:)

l in Fremdbezug	1-10	2-10	3-10	4-10	5-10	6-10	7-10	8-10	9-10	10	-
N_{j0}^F	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
AH_{j0}^-	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
F_{j0}^-	-	1,7	1,65	1,6	1,55	1,5	1,45	1,4	1,35	1,3	1,25

Die Berechnungsweise der F_{j0} sei kurz demonstriert anhand des Wertepaares

$$(AH_{j0}^- ; F_{j0}^-) = (0,4 ; 1,55).$$

Hierbei ergibt sich F_{j0}^- zu

$$F_{j0}^- = \frac{\sum_{l=1}^4 BK_{lj0}}{\sum_{l=1}^4 FK_{lj0}} = \frac{1,7+1,6+1,5+1,4}{1+1+1+1} = \frac{6,2}{4} = \underline{\underline{1,55;}}$$

Bei einem geplanten Autarkiegrad von 40% ist mithin die selbsterstellte Wertschöpfungssumme von 4 GE mit dem Faktor 1,55 zu vervielfachen, um ein zu den gültigen Bezugspreisen bewertetes Pendant von 6,2 GE zu erhalten. -

Im übrigen sei darauf hingewiesen, daß alle im Zusammenhang mit der Ableitung der Hausfertigungskostenzuschlagsfunktionen H_{jt}^i gemachten Aussagen zur Problematik einer stetigen Approximation der $[H_{j0}^i]$ auch an dieser Stelle sinngemäße Gültigkeit besitzen. Wir definieren somit

$$F_{jt} = F_{j0} (AH_{jt}^-) ; \quad \forall t = 1, \dots, T ; j = 1, \dots, J,$$

wobei F_{jt} eine lineare Funktion in AH_{jt} sei, welche über den gesamten Definitionsbereich der Variablen AH_{jt} ($AH_{jt} \in [0;1] \wedge AH_{jt} \in \mathbb{R}$) einen monoton fallenden Verlauf aufweise. Unter Umständen bieten auch quadratische Approximationen einen recht passablen Fit für die Folgenwerte $[F_{jo}]$ (vgl. hierzu auch Kapitel 4.1.1.). Der in Abb. 8 gezeigte Funktionsverlauf F_{jo} , wie er für unser Musterbeispiel charakteristisch ist, stellt jedoch offenkundig unter Beweis, daß im Regelfall meist lineare Verstegigungen Platz greifen.

Zum Abschluß der Erläuterungen dieses Kapitels sei noch auf zwei durchaus erwähnenswerte Besonderheiten im Zusammenhange mit der Ermittlung von Bezugskostenkorrekturfunktionen F_{jt} verwiesen, die jedoch ebensogut im Rahmen der Berechnung von Hausfertigungskostenzuschlagsfunktionen H_{jt}^i Platz greifen:

1) Da wir anläßlich der Festlegung unseres Entscheidungskriteriums (E) die Kostenart Materialeinzelkosten als nicht entscheidungsabhängige Verzehrsart aus unserer Betrachtung eliminiert haben, ist auch bei der Berechnung der Folgenwerte $[H_{jo}^i]$ sowie $[F_{jo}]$ auf den Ansatz solcher Kostenwerte zu verzichten. Wenn wir, unseren Modellannahmen folgend, die teilespezifischen Bezugskosten BK_{ljo}^i bzw. BK_{ljo} um die jeweiligen, als bekannt voraussetzbaren, hausinternen Materialkostenwerte bereinigen, haben wir dieser Forderung Genüge getan. Um die mathematischen Formulierungen, die in diesem Abschnitt verwendet wurden, nicht unnötig komplex werden zu lassen, haben wir ein solches Vorgehen stillschweigend vorausgesetzt.

2) Unter nochmaligem Rückgriff auf die Daten unseres Demonstrationsbeispiels wollen wir eine für strategische

und operative Akquisitionsprobleme charakteristische trade-off-Relation zwischen variierenden Autarkiegraden einerseits sowie der Schwankungsbreite der Gesamtkosten der Wertschöpfung andererseits ableiten.

Offensichtlich müssen bei zunehmenden Fremdfertigungsanteilen immer mehr kostengünstige Hausfertigungsbereiche zugunsten immer ineffizienterer Fremdlieferanten aufgegeben werden, wenn man von einer optimalen Konkretisierung des Fremdfertigungsanteils auf der operativen Ebene ausgeht. Umgekehrt müssen bei extrem gewählten Eigenfertigungsanteilen zunehmend kostengünstige Lieferanten mit Spezial-Know-How und vergleichsweise großen Serien durch ineffiziente interne Fertigung kleiner Serien mit unzureichendem Know-How ersetzt werden (z.B. Fahrzeugelektrik).

Wir errechnen für jeden Autarkiegrad AH_{j0} ($j=\bar{j}$) die gesamten Kosten der Erstellung des $\bar{j}$ -spezifischen Wertschöpfungsbetrages in Periode $t = 0$. Diese ergeben sich zu

$$KW_{j0} : = \sum_{l=N_{\bar{j}}}^{N_{\bar{j}0}} BK_{l\bar{j}0} + \sum_{l=1}^{N_{\bar{j}0} - N_{\bar{j}0}^F} FK_{l\bar{j}0} ,$$

wenn auf die bereits bekannte Symbolik recurriert wird. Hierbei sei des weiteren die an früherer Stelle eingeführte Rangfolge der Teile l unterstellt. Die ergebnisse dieser Berechnungen finden sich in nachstehender Tabelle (auf typkogruppenspezifische Untergliederung sei verzichtet):

l in Fremd- fertigung	1-10	2-10	3-10	4-10	5-10	6-10	7-10	8-10	9-10	10	-
AH_{j0}^-	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
KW_{j0}^-	12,5	11,8	11,2	10,7	10,3	10	9,8	9,7	9,7	9,8	10

So bestimmt sich KW_{j0}^- bei einem angenommenen Eigenfertigungsanteil von 40% etwa zu

$$KW_{j0}^- = \sum_{l=5}^{10} BK_{l\bar{j}0} + \sum_{l=1}^4 FK_{l\bar{j}0} = (1,3 + 1,2 + 1,1 + 1 + 0,9 + 0,8) + (1 + 1 + 1 + 1) = 6,3 + 4 = \underline{\underline{10,3 \text{ GE}}};$$

Wir entnehmen der obigen Tabelle sowie der zugehörigen Abb. 9, welche ein entsprechendes (AH_{j0}^-, KW_{j0}^-) - Schaubild bereithält, daß bezüglich einer stetigen Approximation

$$KW_{j0} = KW_{j0}^- (AH_{j0})$$

der Folge $[KW_{j0}]$ ein U-förmiger Verlauf charakteristisch ist (quadratische Näherung). Dieses Ergebnis dient der Stützung unserer Behauptung, daß externe Realisationen des Autarkiegrades AH_{j0} jeweils erhöhte Kosten der Wertschöpfungsleistung nach sich ziehen. -

Wir fassen zusammen: Die entscheidungsabhängigen Gesamtkosten der Wertschöpfung in Teilperiode t ergeben sich als eine von den planerischen Freiheitsgraden AH_{jt} ($j = 1, \dots, J$; $t = \text{fest}$) abhängige Größe aus folgendem Ausdruck:

$$KW_t = \sum_{j=1}^J [WE_{jt} + WF_{jt}] =$$

$$\begin{aligned}
 &= \sum_{j=1}^J \left[AH_{jt} \cdot \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K w_{it}^{jk} \cdot S_{it} + F_{jt} \cdot (1 - AH_{jt}) \cdot \right. \\
 &\cdot \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K w_{it}^{jk} \cdot S_{it} \left. \right] = \sum_{j=1}^J \left[\sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K w_{it}^{jk} \cdot S_{it} \right. \\
 &\left. (AH_{jt} + F_{jt} (1 - AH_{jt})) \right] , \quad \forall t = 1, \dots T.
 \end{aligned}$$

Wenn gilt

$$F_{jt} = F_{jo} (AH_{jt}) \iff H_{jt}^i = H_{jo}^i (AH_{jt}) \iff w_{it}^{jk} = w_{io}^{jk},$$

$AH_{jt} \in [0;1]$ (variabel), so ist

KW_t (ungeachtet der Annahme zeitunabhängiger Inputparameter w_{io}^{jk}) ausschließlich nichtlinear in AH_{jt} zu beschreiben. Wenn die um dynamische Bezugskostenkorrekturfunktionen erweiterte Version unseres strategischen Modellsystems voraussetzt, daß

$$F_{jt} = F_{jt} (AH_{jt}) \iff H_{jt}^i = H_{jt}^i (AH_{jt}) \iff w_{it}^{jk} \text{ variabel in } t,$$

$AH_{jt} \in [0;1]$ (variabel) gelte, so ist

KW_t unverändert nichtlinear in AH_{jt} darzustellen ($\forall t = 1, \dots T$).

Im Rahmen dieser 2. Ausbaustufe unseres Modellsystems (vgl. hierzu Kapitel 2.3.3.) ist eine lineare Spezifikation der Funktion $F_{jt} (AH_{jt})$ der Gestalt

$$F_{jt} = a_{jt} + b_{jt} \cdot AH_{jt} \text{ vorzunehmen, so daß}$$

der Ausdruck

$$AH_{jt} + F_{jt} (1 - AH_{jt}) \text{ quadratisch in } AH_{jt} \\ (t = 1, \dots, T)$$

beschreibbar ist:

$$\begin{aligned} AH_{jt} + F_{jt} (1 - AH_{jt}) &= AH_{jt} + (a_{jt} + b_{jt} \cdot AH_{jt}) \cdot \\ &\cdot (1 - AH_{jt}) = AH_{jt} + a_{jt} - a_{jt} AH_{jt} + b_{jt} AH_{jt} - b_{jt} AH_{jt}^2 = \\ &= -b_{jt} AH_{jt}^2 + (1 - a_{jt} + b_{jt}) AH_{jt} + a_{jt}, \text{ wobei} \\ &\underline{\underline{a_{jt} \in \mathbb{R}_0^+, b_{jt} \in \mathbb{R}^-, \text{ sowie } a_{jt}, b_{jt} = \text{fix},}} \end{aligned}$$

gemäß den weiter oben genannten Regeln zur Spezifikation der Bezugskostenkorrekturfunktionen F_{jt} . Mithin ergibt sich KW_t zu

$$KW_t = \sum_{j=1}^J \left[\sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K w_{it}^{jk} \cdot S_{it} (-b_{jt} AH_{jt}^2 + (1 - a_{jt} + b_{jt}) \cdot \right. \\ \left. \cdot AH_{jt} + a_{jt} \right], \quad \forall t = 1, \dots, T$$

als quadratische Funktion in AH_{jt} .

In der Basisversion unseres Modellsystems wollen wir uns hingegen auf eine statische, jedoch ebenfalls lineare Darstellung der Bezugskostenkorrekturfunktionen F_{jt} stützen, so daß sich KW_t als quadratische Funktion in AH_{jt} errechnet zu

$$KW_t = \sum_{j=1}^J \left[\sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K w_{io}^{ik} \cdot S_{it} (-b_{jo} \cdot AH_{jt}^2 + (1 - a_{jo} + b_{jo}) \cdot \right.$$

$$\cdot AH_{jt} + a_{jo}) \Big] , \quad \forall t = 1, \dots, T,$$

wobei F_{jt} eine zeitinvariante, lineare Funktion der Gestalt

$$F_{jt} = a_{jo} + b_{jo} \cdot AH_{jt}, \quad a_{jo} \in \mathbb{R}_0^+, \quad b_{jo} \in \mathbb{R}^-, \quad a_{jo}, b_{jo}$$

fest sei. -

Wir gehen nun über zur Analyse der zweiten Hauptkomponente unserer Erklärungshypothese. Entsprechende Erörterungen hierzu seien jedoch dem nachfolgenden Abschnitt vorbehalten.

2.3.1.2. Die entscheidungsabhängigen Abschreibungen auf Betriebs- und Sonderbetriebsmittel in den Hauptkostenstellen

Während die entscheidungsrelevanten Kosten der Wertschöpfung in ursächlichem Zusammenhang mit der Produkttechnologie stehen, welche durch homogene Konstruktionsgruppen j vertreten werden ($j = 1, \dots, J$), sind die durch Entscheidungen beeinflussbaren Abschreibungsbeträge auf Produktionsmittel sehr eng mit der Prozeßtechnologie verknüpft, die durch entsprechende Kostenstellen k ($k = 1, \dots, K$) repräsentiert wird. Somit können wir ABS_t zu

$$ABS_t = \sum_{k=1}^K ABS_{kt} , \quad \text{wobei}$$

ABS_{kt} ... denjenigen Abschreibungsbetrag $[GE]$ symbolisiere, der in Periode t auf Kostenstelle k entfalle ($k = 1, \dots, K; t = 1, \dots, T$).

Diese kostenstellenspezifischen Abschreibungssummen ABS_{kt}

ergeben sich ihrerseits unmittelbar aus den geplanten Investitionsvolumina INV_{kt}^m der einzelnen Fertigungseinheiten k ($k = 1, \dots, K$), welche, aus bereits erläuterten Gründen, auf mehrere Anlagen-Lebensdauerklassen m ($m = 1, \dots, M$) zu verteilen sind,

Es gelte:

$$ABS_{kt} = \sum_{m=1}^M \frac{1}{m} \sum_{\hat{t}=t-m+1}^t INV_{kt}^m, \quad V \ k=1, \dots, K \text{ sowie } t=1, \dots, T \text{ mit } M=7.$$

Da die Symbolik bereits an früherer Stelle erläutert wurde kann unverzüglich zur inhaltlichen Deutung des obenstehenden Zusammenhangs übergegangen werden. Zu diesem Zwecke wollen wir ein kleines Demonstrationsbeispiel mit nachfolgenden Daten konstruieren:

Wir betrachten die Hauptkostenstelle $k = 2$ zur Teilperiode $t = 4$ und berechnen ABS_{24} zu

$$ABS_{24} := \sum_{m=1}^7 \frac{1}{m} \sum_{\hat{t}=5-m}^4 INV_{2\hat{t}}^m, \quad \text{wobei } m = 1, \dots, 7;$$

Hieraus folgt unmittelbar: $ABS_{24} =$

$$\begin{aligned} &= \sum_{\hat{t}=4}^4 INV_{2\hat{t}}^1 + \frac{1}{2} \sum_{\hat{t}=3}^4 INV_{2\hat{t}}^2 + \frac{1}{3} \sum_{\hat{t}=2}^4 INV_{2\hat{t}}^3 + \frac{1}{4} \sum_{\hat{t}=1}^4 INV_{2\hat{t}}^4 + \frac{1}{5} \sum_{\hat{t}=0}^4 \\ &INV_{2\hat{t}}^5 + \frac{1}{6} \sum_{\hat{t}=-1}^4 INV_{2\hat{t}}^6 + \frac{1}{7} \sum_{\hat{t}=2}^4 INV_{2\hat{t}}^7 \end{aligned}$$

Offensichtlich wird die Periode $t = 4$ bezüglich $k = 2$ belastet mit

- den in t selbst getätigten Ausgaben für Investitionen in maschinelle Anlagen des Typs $\{ (k,m) \mid k = 2 \wedge m = 1 \}$
: INV_{24}^1 (Lebensdauerklasse $m = 1$ / Investitionszeitpunkt $\hat{t} = 4$) sowie

- dem jeweils m-ten Teil der in den (m-1) vorhergehen-
den Perioden $(t - m + 1), (t - m + 2), \dots (t - 1)$
verausgabten Beträge für Investitionen in Betriebs-
mittel der Gattung $\{ (k, m) : k = 2 \wedge m = 2, 3 \dots M \wedge M = 7 \}$:

$$\frac{1}{2} \cdot \text{INV}_{23}^2 \quad \text{Lebensdauerklasse: } m = 2$$

Investitionszeitpunkte: $\hat{t} = 3;$

$$\frac{1}{3} (\text{INV}_{22}^3 + \text{INV}_{23}^3) \quad \text{Lebensdauerklasse: } m = 3$$

Investitionszeitpunkte: $\hat{t} = 2, 3;$

$$\frac{1}{4} (\text{INV}_{21}^4 + \text{INV}_{22}^4 + \text{INV}_{23}^4) \quad \text{Lebensdauerklasse: } m = 4$$

Investitionszeitpunkte: $\hat{t} = 1, 2, 3;$

$$\frac{1}{5} (\text{INV}_{20}^5 + \text{INV}_{21}^5 + \text{INV}_{22}^5 + \text{INV}_{23}^5) \quad \text{Lebensdauerklasse: } m = 5$$

Investitionszeitpunkte: $\hat{t} = 0, 1, 2, 3;$

$$\frac{1}{6} (\text{INV}_{2/-1}^6 + \text{INV}_{20}^6 + \text{INV}_{21}^6 + \text{INV}_{22}^6 + \text{INV}_{23}^6) \quad \text{Lebensdauerklasse: } m = 6$$

Investitionszeitpunkte: $\hat{t} = -1, 0, 1, 2, 3;$

$$\frac{1}{7} (\text{INV}_{2/-2}^7 + \text{INV}_{2/-1}^7 + \text{INV}_{20}^7 + \text{INV}_{21}^7 + \text{INV}_{22}^7 + \text{INV}_{23}^7) \quad \text{Lebensdauerklasse: } m = 7$$

Investitionszeitpunkte: $\hat{t} = -2, -1, 0, 1, 2, 3;$

und schließlich auch

- dem entsprechenden m-ten Teil der in $\hat{t} = t = 4$ selbst in
Maschinen des Typs $\{ (k, m) / k = 2 \wedge m = 2, \dots M \wedge M = 7 \}$
investierten Summen:

$\frac{1}{2} \cdot \text{INV}_{24}^2$	Lebensdauerklasse: $m = 2$	Investitionszeit- punkt $t = 4$
$\frac{1}{3} \cdot \text{INV}_{24}^3$	Lebensdauerklasse: $m = 3$	
$\frac{1}{4} \cdot \text{INV}_{24}^4$	Lebensdauerklasse: $m = 4$	
$\frac{1}{5} \cdot \text{INV}_{24}^5$	Lebensdauerklasse: $m = 5$	
$\frac{1}{6} \cdot \text{INV}_{24}^6$	Lebensdauerklasse: $m = 6$	
$\frac{1}{7} \cdot \text{INV}_{24}^7$	Lebensdauerklasse: $m = 7$	

Obige Aufstellung bedarf jedoch einiger weiterführender Erläuterungen. Wir halten in diesem Zusammenhange fest:

- a) Für jede Fertigungseinheit k ($k = 1, \dots K$) sind zu jedem Zeitpunkt t ($t = 1, \dots T$) jeweils $M = 7$ Investitionspunkte $\hat{t}$ zu berücksichtigen:

$$t - (t - M + 1) + 1 = \hat{t} - \hat{t} + M - \hat{1} + \hat{1} = \underline{M} \left[\text{Zeitpunkte} \right] ;$$

Mithin besteht die Notwendigkeit, die zu diesen Zeitpunkten verausgabten Kapitalien gemäß einer einheitlichen Periodisierungsvorschrift auf die Jahre des Wirkungshorizontes der korrespondierenden Investitionstätigkeit zu verteilen. Zu diesem Zwecke benutzen wir für alle betrachteten Anlagentypen $\{ (k,m) / k = 1, \dots K; m = 1, \dots M \}$ gleichermaßen das Schlüsselungsverfahren der linearen Abschreibung (Verteilung einer Investitionsausgabe I auf m Nutzungsjahre zu gleichen Beträgen $\frac{1}{m} \cdot I$). Realitär existierende, unterschiedliche Abschreibungssätze und -modalitäten können hier aus Gründen der Wahrung einer übersichtlichen Modellstruktur nicht berücksichtigt werden. Mangelnde Übersichtlichkeit und Klarheit sind ein Indiz für das Bestreben der Modellkonstrukteure, die Realität zu imitieren, anstatt in hinreichender Weise von ihr zu abstrahieren.

Problematisch ist diese Art und Weise der periodengerechten Verteilung von Investitionsausgaben ganz offensichtlich für Anlagentypen der Gattung $\{ (k,m) / k = 1, \dots K; m = M = 7 \}$. Da die Lebensdauerklasse $m = 7$ ex definitione alle Betriebsmittel mit einer durchschnittlichen Lebenserwartung von mehr als sechs Jahren aufnimmt, wobei für bestimmte Anlagentypen mit einer maximal realisierbaren, mittleren Nutzungsdauer von etwa 20 Jahren zu rechnen ist, kommt es hier zwangsläufig zur

Ermittlung von periodenanteiligen Abschreibungsbeträgen, die nicht den tatsächlichen Nutzungsverläufen entsprechen.

Wir können dieses Problem offenbar dadurch umgehen, daß wir für die maschinellen Anlagen der Lebensdauerklasse $m = 7$ eine wahrscheinlichste mittlere Lebenserwartung ansetzen, welche aus den Aufzeichnungen der Anlagenbuchhaltung über den Fluktuationsverlauf in den entsprechenden Anlagenkontengruppen zu ermitteln sind. Unsere diesbezüglichen Berechnungen ergaben einen Wert von etwa 12 Jahren. Mithin ist die Bestimmungsgleichung für die auf t entfallenden, entscheidungsabhängigen Abschreibungen auf Anlagen der Gattung $\{ (k,m) / k = 1, \dots K; m = 1, \dots M \}$ wie folgt zu modifizieren:

$$ABS_{kt} = \sum_{m=1}^{M-1} \frac{1}{m} \sum_{\hat{t}=t-m+1}^t INV_{k\hat{t}}^m + \frac{1}{12} \sum_{\hat{t}=t-M+1}^t INV_{k\hat{t}}^M ;$$

$\star k = 1, \dots K; t = 1, \dots T.$

b) Des weiteren ist der Frage nachzugehen, inwieweit den jeweils zu t geleisteten Investitionsausgaben $INV_{k\hat{t}}^m$ für Betriebsmittel der Gattung $\{ (k,m) / k = 1, \dots K; m = 1, \dots M \}$ de facto die Eigenschaft der Variabilität (Entscheidungsabhängigkeit) attestiert werden kann. Zu diesem Zwecke greifen wir wieder auf die Daten unseres obigen Demonstrationsbeispiels zurück.

- Als beeinflußbar (entscheidungsabhängig) zu $t = 4$ müssen die zu $\hat{t} = t = 4$ selbst getätigten Investitionen INV_{24}^m , $m = 1, \dots M$, gelten (M t -spezifische Entscheidungsvariablen).
- Die zu den verbleibenden Zeitpunkten $\hat{t} = -2, -1, 0, 1, 2, 3$ initiierten Investitionsprojekte entziehen sich

zu $t = 4$ jeglicher Gestaltbarkeit. Trotzdem muß die betrachtete Periode $t = 4$ mit entsprechenden anteiligen Abschreibungen auf Anlagengattungen $\{(k,m) / k = 2; m = 2,3 \dots M; M = 7\}$ belastet werden, welche

- zu Beginn der Perioden $\hat{t} = 1,2,3$, mithin Teilperiode des zur Untersuchung anstehenden Planungshorizonts T neu beschafft wurden, sowie
- zu den Zeitpunkten $\hat{t} = -2, -1, 0$, welche ex definitione nicht Gegenstand der planerischen Tätigkeit sein können, dem betrieblichen Sachvermögen zugeführt wurden.

Wir müssen die erstgenannten Investitionsbeträge $INV_{2\hat{t}}^m$; $\hat{t} = 1,2,3$; als vollwertige, im Rahmen des Planungshorizonts echt gestaltbare Freiheitsgrade ansehen, die jedoch bereits zu den Perioden $t = 1, \dots 3$ als Entscheidungsvariablen erfaßt werden, so daß sich ein diesbezügliches Aufführen in $t = 4$ erübrigt.

Den zu $\hat{t} = -2, -1, 0$ getätigten Investitionsausgaben $INV_{2\hat{t}}^m$ ($\forall m \geq t + 1 = 5$) muß indessen das Charakteristikum der Entscheidungsabhängigkeit abgesprochen werden. Es handelt sich hierbei um die Werte von (vergangenheitsbezogenen) Dummy-Variablen, welche, nach Summation über alle $\hat{t} \leq 0$, den in Geldeinheiten bewerteten Anlagenistbestand der Gattung $\{(k,m) / k = 1, \dots K; m = 1, \dots M\}$ zu $t = 0$ repräsentieren. Die bedeutsame Rolle des Gesamtbestandes verfügbarer Anlagentypen soll jedoch erst im Rahmen der Erläuterung des Restriktionssystems unseres strategischen Entscheidungsmodells beschrieben werden.

Daß anteilige Abschreibungen auf Betriebsmittel, welche

im Vorfelde des Planungszeitraums neu beschafft wurden, trotzdem in unserer Erklärungshypothese Berücksichtigung finden, sei mit dem Anliegen der planenden Stellen begründet, einen möglichst vollständigen, kostenstellen-spezifischen Ausweis über die kostenmäßige Entwicklung der betrieblichen Investitionstätigkeit zu erhalten, wie sie aufgrund vergangener, gegenwärtiger sowie zukünftiger Akquisitions- und Investitionsentscheidungen charakteristisch ist. In diesem Zusammenhange mag darauf hingewiesen sein, daß die Tatsache, aufgrund einer gestern getroffenen Kapazitätsentscheidung morgen eine Akquisitionsentscheidung fällen zu können, eine durchaus zu respektierende Rechtfertigung dafür darstellt, die Zielfunktion unseres strategischen Modellsystems mit den kostenmäßigen Auswirkungen bereits getroffener Entscheidungen zu belasten.

Zusammenfassend kann in Übereinstimmung mit bereits an früherer Stelle gewonnenen ersten diesbezüglichen Erkenntnissen festgehalten werden, daß uns das Infrastrukturelement INV_{kt}^m zu jedem Zeitpunkt $t \in \{1, 2 \dots T\}$ genau M kostenstellenbezogene Entscheidungsvariablen bietet ($\forall k = 1, \dots K$), so daß in summa

$$M \cdot K \cdot T = 7 \cdot 10 \cdot 6 = \underline{\underline{420}}$$

solche Veränderliche zur Belegung anstehen. Des weiteren sei nochmals betont, daß die Investitionsbeträge INV_{kt}^m ($\forall (t, k, m)$) sowohl zur Deckung des Ersatzbedarfs an Anlagentypen $\{(k, m) / k = 1, \dots K; m = 1, \dots M\}$, als auch zur Befriedigung des Neubedarfs an entsprechenden Betriebsmitteln verwandt werden können. Diesbezügliche Differenzierungen sind für den Ablauf des Entscheidungskalküls ohne Belang, können aber ggf. modellexogen getroffen werden.

c) Abschließend sei eine letzte Erweiterung der Bestimmungsgleichung für die auf Periode t entfallenden, echt beeinflussbaren Abschreibungen ABS_{kt} der Fertigungseinheiten k ($\forall k = 1, \dots, K$). Diese Erweiterung betrifft die explizite Berücksichtigung der während T erfolgenden Ausgaben für Sonderbetriebsmittel im Entscheidungskalkül. Wegen der bereits im Kapitel 2.1.2. erläuterten geradezu verschwindend geringen Bedeutung dieser Investitionsbeträge, welche sich im direkten Vergleich zur betragsmäßigen Höhe der ABS_{kt} dokumentiert, sei in diesem Zusammenhange auf einen analytisch komplexen Ansatz verzichtet, wie er etwa bei der Bestimmung der ABS_{kt} zum Zuge kommt. Wir präferieren eine einfache Kausalitätsbeziehung, welche die in t bezüglich k zu erbringenden Aufwendungen für anlagentyp- sowie baureihenspezifische Sonderbetriebsmittel in proportionaler Abhängigkeit von der jeweiligen Höhe der ABS_{kt} sieht. Wir definieren

$$INVSBM_{kt} := \left(c_{kt}^a + \sum_{i=1}^I c_{kt}^i \right) \cdot ABS_{kt}, \text{ wobei}$$

c_{kt}^a ... den Anteil der in k bezüglich t zu tätigen Abschreibungen auf Investitionen in anlagentypspezifische Sonderbetriebsmittel am Gesamtabschreibungsvolumen ABS_{kt} darstelle.

c_{kt}^i ... denjenigen Bruchteil der gesamten, entscheidungsabhängigen Abschreibungen auf Betriebsmittel des Typs k in t umfasse, welcher in der Fertigungseinheit k für baureihenspezifische Spezialwerkzeuge ($i = 1, \dots, I$) zu ebendieser Periode t aufzuwenden ist. c_{kt}^i ist nur dann

- von Null verschieden ($\neq i,k$), wenn
- in Periode t ($t=1, \dots T$) ein Modellwechsel bezüglich Typ i stattfindet ($i = 1, \dots I$) oder aber
 - die betrachtete Periode t ein beliebiges Folgejahr einer Periode $\bar{t} \in \{1, \dots T\}$ ist, in der ein Fahrzeugtypwechsel induziert wurde.

$INVSBM_{kt}$... die bezüglich t periodisierten, in Hauptkostenstelle k anfallenden Investitionen in anlagen- und baureihenspezifische Sonderbetriebsmittel repräsentiere [GE].

Hierzu sei noch unter Hinweis auf die Ausführungen des Kapitels 2.1.2. festgehalten, daß die Beantwortung der Frage betreffend die faktische Entscheidungsabhängigkeit der Beschreibungen auf fahrzeugspezifische Spezialwerkzeuge ($ABS_{kt} \cdot \sum_{i=1}^I c_{kt}^i$) analog der diesbezüglichen Erläuterungen

unter b) gehandhabt werden kann.

Des weiteren sei bereits an dieser Stelle der Vermerk gestattet, daß die oben beschriebenen Anteilswerte c_{kt}^a sowie c_{kt}^i ($\neq t,k,i$) auf Basis entsprechender Daten der Vergangenheit subjektiv geschätzt werden müssen. Hierzu hat sich ein diesbezüglicher Experte des Fachbereichs Projekt- und Investitionscontrolling unserer Firma spontan bereit erklärt.

Abschließend wollen wir die Bestimmungsformeln der beiden Kostendeterminanten ABS_{kt} sowie $INVSBM_{kt}$ in einem einzigen mathematischen Ausdruck per Summation zusammenfassen. Das Ergebnis dieser Transformation sei jedoch der Einfachheit

halber wiederum mit dem Symbol ABS_{kt} belegt:

$$\begin{aligned} ABS_{kt} &:= ABS_{kt} + INVSBM_{kt} = \\ &= ABS_{kt} + (c_{kt}^a + \sum_{i=1}^I c_{kt}^i) \cdot ABS_{kt} = \\ &= (1 + c_{kt}^a + \sum_{i=1}^I c_{kt}^i) \cdot ABS_{kt} \end{aligned}$$

Hieraus folgt:

$$ABS_{kt} = (1 + c_{kt}^a + \sum_{i=1}^I c_{kt}^i) \cdot \left[\sum_{m=1}^{M-1} \frac{1}{m} \sum_{\hat{t}=t-m+1}^t \right. \\ \left. INV_{kt}^m + \frac{1}{12} \sum_{\hat{t}=t-M+1}^t INV_{kt}^M \right], \quad \forall k = 1 \dots K, t = 1, \dots, T.$$

Mithin kann $ABS_{kt}(\forall t, k)$ als lineare Funktion in $INV_{kt}^m(\forall t, k, m)$ klassifiziert werden. In der Zielfunktion unserer Basisversion des Modellsystems zur strategischen Akquisitions- und Investitionsplanung müssen wir uns somit sowohl mit linearen (bezüglich $INV_{kt}^m; \forall (t, k, m)$) als auch mit nichtlinearen (bezüglich $AH_{jt}; \forall j, t$) Darstellungen der zu minimierenden, entscheidungsabhängigen Kostenwerte befassen. -

2.3.2. Die Formulierung des Restriktionssystems unter Beachtung handlungsrelevanter Umweltparameter

Nebenbedingungen dienen vornehmlich der Erfassung von Beziehungen, die zwischen den Entscheidungsvariablen zum einen und bestimmten Umweltparametern zum anderen gelten müssen. Meist schon im Rahmen der Fixierung der Entscheidungsalternativen stößt man sehr rasch an die Grenzen des Handlungsspielraums. Man stellt fest, daß man sich mit seinen Entscheidungen lediglich innerhalb bestimmter oberer und unterer Schranken, die von handlungsrelevanten Umweltfaktoren gesetzt werden, frei bewegen kann.

Grundsätzlich äußern sich solche Randbedingungen in der Konstanthaltung gewisser Größen (die einen Verzicht auf deren Beeinflussung dokumentiert) oder aber in der Begrenzung beeinflubarer Größen (vgl. Hanssmann 1978, a.a.O. S. 70).

Die nachfolgenden Teilabschnitte seien nun der Beschreibung der obligatorischen Komponenten des Restriktionssystems gewidmet, wie sie für die Basisversion unseres Modellsystems charakteristisch sind. Im einzelnen wollen wir uns in diesem Zusammenhange mit

- technisch-ökonomischen Knappheitsrelationen (insbesondere Kapazitätsrestriktionen)
- Budgetrestriktionen
- Systemen der Limitierung offener strategischer Handlungsspielräume durch allgemeine unternehmenspolitische Gründe, sowie nicht zuletzt mit
- Plausibilitätsrestriktionen

befassen. Beginnen wir mit den Nebenbedingungen technischer Natur.

2.3.2.1. Die Analyse technisch-ökonomischer Knappheitsrelationen

Im Mittelpunkt der Erörterungen dieses Abschnitts stehe die nachfolgende zentrale Regel betreffend die bedarfsorientierte Dimensionierung der betrieblichen Fertigungskapazitäten:

Die für die Beschaffung von Betriebsmitteln der Gattung $\{(k,m) / k = 1, \dots, K; m = 1, \dots, M\}$ bezüglich t ($\forall t = 1, \dots, T$) zu tätigen Investitionen INV_{kt}^m sind so zu bemessen, daß in jeder Planperiode t der zur Fertigung von (hausintern) in k zu erbringenden Wertschöpfungsbeträge

$$WE_{kt} := \sum_{j=1}^J WE_{jt}^k := \sum_{j=1}^J AH_{jt} \sum_{i=1}^I w_{it}^{jk} \cdot S_{it}, \text{ wobei}$$

$$w_{it}^{jk} := w_{io}^{jk}, \forall t = 1, \dots, T \text{ (Basisversion)}$$

erforderliche, k -spezifische Anlagenbestand in den verschiedenen Lebensdauerklassen m ($m=1, \dots, M$) im Unternehmen verfügbar ist. Es gelte somit

$$\sum_{\hat{t}=t-m+1}^t INV_{kt}^m \geq AB_{kt}^m \quad (\forall (t,k,m)), \text{ wobei}$$

AB_{kt}^m definiert sei zu

$$\begin{aligned} AB_{kt}^m &:= AI_{kt}^m \cdot (WE_{kt}) = \\ &= AI_{kt}^m \cdot \left(\sum_{j=1}^J AH_{jt} \cdot \sum_{i=1}^I w_{it}^{jk} \cdot S_{it} \right), \text{ mit} \end{aligned}$$

$$w_{it}^{jk} := w_{io}^{jk}, \forall t = 1, \dots, T \text{ (Basisversion).}$$

Hierbei symbolisiere

WE_{jt}^k ... denjenigen Bruchteil der bezüglich Fahrzeugkomponente j während t im Hause zu leistenden Wertschöpfung, der in der Fertigungseinheit k zu erbringen ist $[GE] \quad (t, j, k)$.

Summiert man die Größe WE_{jt}^k über alle betrachteten Kogruppen j ($j = 1, \dots, J$), so erhält man die gesamte, während der Teilperiode t in der Hauptkostenstelle k zu erstellende Wertschöpfungssumme WE_{kt} , gemessen in Geldeinheiten.

AI_{kt}^m ... das wertmäßige Anlagenvolumen der Lebensdauerklasse m $[GE]$ ($m = 1, \dots, M$), welches zur Erzeugung einer Wertschöpfung von einer Geldeinheit in der jeweils betrachteten Kostenstelle k ($k = 1, \dots, K$) bezüglich Teilperiode t ($t = 1, \dots, T$) benötigt wird.

AB_{kt}^m ... der in Fertigungseinheit k durch entsprechende Investitionsaktivitäten zu deckende Bedarf an Betriebsmitteln der Gattung $\{ (k, m) / k = 1, \dots, K; m = 1, \dots, M \}$ in Periode t . Dieser Kapazitätsbedarf wird proportional zum variablen Fertigungskostenvolumen der jeweiligen Kostenstelle in t (WE_{kt}) gesehen. Die Rolle der Proportionalitätskonstanten wird hierbei von der Größe AI_{kt}^m übernommen, welche wir nachfolgend als Anlagenintensität bezeichnen wollen. Der (k, m) -spezifische Kapazitätsbedarf zur Periode t , AB_{kt}^m , ist also geeignet, diesbezügliche Anlagensollbestände, bewertet zu konstanten Preisen des Basisjahres $t = 0$, zu formulieren.

Wir unterziehen nun die oben beschriebenen Gleichheits- und Ungleichheitsbeziehungen einer detaillierteren Analyse zum Zwecke der Offenlegung ihres Zusammenwirkens.

Dreh- und Angelpunkt dieser technisch-ökonomischen Restriktion ist zweifelsohne die Anlagenintensität AI_{kt}^m . Wir betrachten diesen handlungsrelevanten Umweltparameter als einen technischen Bestimmungsfaktor, welcher

- Aufschlüsse gibt über den zur Periode t in (k,m) realisierten Grad der Leistungsfähigkeit der jeweils eingesetzten Prozeßtechnologie ($\chi(k,m)$) und demzufolge
- entweder aus den technischen Daten gegenwärtig genutzter Produktionspotentiale für zukünftige Perioden unter Einbezug der absehbar eintretenden technischen Fortschritte zu prognostizieren, oder aber von Experten der Prozeßtechnologie in entsprechender Weise subjektiv zu schätzen ist. Den Ausführungen des Kapitels 4.1.1. darf vorweggenommen werden, daß die Kollegen von der technischen Zentralplanung über fundierte diesbezügliche Kenntnisse verfügen und uns in dieser Hinsicht jegliche Schützenhilfe zukommen lassen.

Das Schaubild der Abb. 10 zeigt für eine beliebige Anlagengattung $(\bar{k}, \bar{m}) \in \{(k,m) / k = 1, \dots, K; m = 1, \dots, M\}$ den charakteristischen Zeitpfad der Anlagenintensität AI_{kt}^m :

$$AI_{kt}^m = AI_{kt}^m(\tau) ; \chi(k,m), \tau \in \mathbb{R},$$

wobei τ ein auf die Basisperiode 0 normierter stetiger Zeitindex sei, ist eine über ihren gesamten Definitionsbereich hinweg monoton fallende Funktion. Dies offenbart einen im Zeitablauf zunehmend besseren, durch technischen

Fortschritt induzierten Wirkungsgrad der eingesetzten Prozeßtechnologie: Der zur Erstellung einer Wertschöpfung von konstant einer Geldeinheit erforderliche wertmäßige Anlagenbestand der Gattung (k,m) nimmt ab mit wachsendem τ . Des weiteren sei hinzugefügt, daß sich im Falle plötzlich eintretender Innovationsschübe bezüglich (k,m) auch die Lage der Funktion $AI_{kt}^m(\tau)$ verändern kann. Zu erwarten ist eine (u.U. parallele) Verschiebung der Kurve nach unten.

Trotzdem sei in der Basisversion unseres Modellsystems von zeitabhängigen Anlageintensitäten abstrahiert. Wir wollen es in diesem Zusammenhange der Einfachheit halber dabei belassen, entsprechende Werte für die laufende Periode $t = 0$ schätzen zu lassen. Diese Vorgehensweise ist zu begründen mit unserem Bestreben, erst in der erweiterten Modellversion zeitabhängige ziel- und handlungsrelevante Umweltparameter zum Zuge kommen zu lassen.

Es gelte also vorläufig:

$$AI_{kt}^m : = AI_{ko}^m, \quad \forall t = 1, \dots, T \text{ sowie } \forall (k,m).$$

Hieraus folgt für unsere Kapazitätsdimensionierungsregeln:

$$\sum_{\hat{t}=t-m+1}^t INV_{k\hat{t}}^m \geq AI_{ko}^m \cdot \left(\sum_{j=1}^J AH_{jt} \cdot \sum_{i=1}^I w_{io}^{jk} \cdot s_{it} \right),$$

$$\forall (t,k,m).$$

Aus der obigen Ungleichheitsbeziehung läßt sich nun un-
schwer die (an sich triviale) Feststellung ableiten, daß
die Infrastrukturkonzeptionen $AH_{jt}(\forall (j,t))$ sowie INV_{kt}^m
 $(\forall t,k,m)$ in einem gleichläufigen Zusammenhange stehen.

Erhöhte Autarkiebestrebungen, die sich in steigenden Eigenfertigungsanteilen AH_{jt} dokumentieren, sind mit gesteigerter Investitionstätigkeit, die sich in wachsenden Investitionsaufwendungen INV_{kt}^m niederschlagen, zu bezahlen.

Wir greifen auf unser diesbezügliches Demonstrationsbeispiel des Abschnitts 2.3.1.2. zurück und "füllen" unsere Kapazitätsdimensionierungsregel mit den entsprechenden Daten.

Sei $t = 4$ $k = 2$, sowie $m = 6$: Dann muß gelten

$$\sum_{t=-1}^4 INV_{2t}^6 \geq AI_{20}^6 \cdot WE_{24} \quad \text{Hieraus folgt:}$$

$$\underbrace{(INV_{2/-1}^6 + INV_{20}^6)}_{= A} + \underbrace{(INV_{21}^6 + INV_{22}^6 + INV_{23}^6)}_{= B} + \underbrace{INV_{24}^6}_{= C} \geq AI_{20}^6 \cdot WE_{24}$$

Die linke Seite dieser Ungleichung, welche exdefinitione den zur Periode $t = 4$ faktisch realisierten, wertmäßigen Anlagenistbestand des Typs $(k,m) = (2,6)$ repräsentiert, läßt sich in drei Komponenten aufspalten, die sich lediglich im Zeitpunkt der Ausgabewirksamkeit unterscheiden:

- Die Komponente A stellt den Istbestand an Betriebsmitteln der betrachteten Gattung dar, wie er zu Beginn des Planungszeitraums T charakteristisch ist. Die Summanden dieser Größe sind mithin fixe Werte (Scheinvariablen), die sich der Beeinflussung durch irgendwelche, während T getroffenen Entscheidungen entziehen (vgl. hierzu auch Kapitel 2.3.1.2.).
- Der Ausdruck B zeigt den durch Investitionen in Anlagen des Typs $(k,m) = (2,6)$ bis einschließlich der Planperiode $t = 3$ erzielten Zuwächse des entsprechenden Anlagenistbestandes. Die Summanden der Größe B sind echte,

durch Entscheidungen aktiv gestaltbare planerische Freiheitsgrade. Damit ergibt die Summe aus A und B den Istbestand an Anlagen der Gattung (2,6), wie er zu $t = 3$ produktiv genutzt werden kann.

- Die Größe C gibt an, um welchen Betrag die soeben benannte Summe zu Beginn der Periode $t = 4$ zu erhöhen ist, um den während dieser Zeitspanne geäußerten (2,6)-spezifischen Anlagenbedarf der Höhe $AI_{20}^6 \cdot WE_{24}$ mindestens zu decken. Zweifellos ist auch die Komponente C als echte Entscheidungsvariable anzusehen. -

Der Erläuterung der Funktions- und Arbeitsweise unseres Kapazitätsdimensionierungssystems folgt nun die Diskussion einiger besonderer Restriktionen, die im Zusammenhange mit dem Infrastrukturkonzept der INV_{kt}^m von einiger Bedeutung erscheinen:

1. Wir betrachten zunächst die nachfolgenden Ungleichheitsbeziehungen:

$$\left| INV_{kt}^m \right| \geq MI_{kt}^m \iff INV_{kt}^m \leq - MI_{kt}^m \vee INV_{kt}^m \geq MI_{kt}^m ,$$

wobei MI_{kt}^m ein bezüglich der Fertigungseinheit k in Periode t zu berücksichtigender Mindestinvestitionsschritt [GE] bei der Neubeschaffung von Anlagen der Lebensdauerklasse m ($m = 1, \dots, M$) sei. Mithin ist MI_{kt}^m mit der Summe identisch, die zum Bezug einer Einheit der betrachteten Maschinengattung berechtigt.

Zudem soll stets gelten: $INV_{kt}^m \geq 0, \forall (t, k, m)$

Mit anderen Worten sind Desinvestitionen bezüglich $(k, m) \in \{ (k, m) / k = 1, \dots, K; m = 1, \dots, M \}$ unzulässig, da die Stilllegung oder gar Veräußerung von Betriebsmitteln weder Gegenstand unseres Entscheidungs-

kalküls sind, noch in ausschließlicher Weise aufgrund von Aspekten der Kostenwirtschaftlichkeit induziert werden können. Man denke in diesem Zusammenhange an die unternehmenspolitisch brisante Konsequenz des Abbaus von Bedienungspersonal. Des weiteren sei darauf hingewiesen, daß die Veräußerung von Teilen des betrieblichen Anlagevermögens in der Praxis höchst selten betrieben wird, da technische Restriktionen, wie etwa die eingeschränkte externe Verwendbarkeit solcher Betriebsmittel, dem entgegenstehen. Nur im Falle der Veräußerung maschineller Anlagen, nicht dagegen bei Stillegung, kann von einer Abschreibungsersparnis, die dann zwingend in der Erklärungshypothese berücksichtigt werden müßte, die Rede sein. Die Einführung einer Auswahlvariablen eigens zum Zwecke der modellendogenen Differenzierung der beiden genannten Desinvestitionsformen erscheint jedoch aus rechentechnischen Gründen nicht sinnvoll. Überdies würde dadurch die Struktur unseres Entscheidungsmodells derartig komplex, daß sich die betroffenen Entscheidungsträger von einem solchen Kalkül eher Verwirrung denn Unterstützung erhoffen dürften.

Somit kann auf die Ungleichung

$$INV_{kt}^m \leq - MI_{kt}^m \quad (\forall (t,k,m)) \quad (\text{"Mindestdesinvestitionsschritt"})$$

verzichtet werden.

Wir betrachten die beiden verbleibenden Ungleichungen

$$INV_{kt}^m \geq MI_{kt}^m \quad \text{ sowie } INV_{kt}^m \geq 0 \quad \text{ und stellen fest,}$$

daß erstere $\forall (t,k,m)$ die stärkere Bedingung darstellt und daher die zweite Relation, aus einer rein mathematischen Perspektive betrachtet, überflüssig macht. Dies ist jedoch keineswegs in unserem Sinne, da wir

ausdrücklich auch Investitionsbeträge INV_{kt}^m zulassen wollen, welche den Wert 0 annehmen. Aus diesem Dilemma kann uns somit nur die Einführung einer Auswahlvariablen befreien, welche bewirkt, daß wir nur dann

$$INV_{kt}^m \geq MI_{kt}^m, \text{ für beliebige } (t,k,m) \text{ fordern}$$

wenn gilt: $INV_{kt}^m > 0$, was impliziert, daß für beliebige (t,k,m) de facto ein von Null verschiedener Investitionsbedarf existiert.

Wie bereits weiter oben in anderem Zusammenhange betont wurde, ist der Ansatz solcher Binärvariablen im Verbund mit stetig definierten Entscheidungsvariablen (AH_{jt} , INV_{kt}^m) ein außerordentlich delikates Problem. Dies gilt umso mehr, als die unserer Problemstellung zugrundeliegende Modellrelationen zum Teil nichtlinearer Natur sind, die zu deren Auswertung heranzuziehenden Verfahren der gemischt-ganzzahligen nichtlinearen Optimierungsverfahren jedoch aus den Kinderschuhen noch nicht herausgekommen sind. Somit werden wir auch hier auf die Einführung von Auswahlvariablen verzichten. Diesem Entschluß ist dann folgerichtig die Ungleichheitsbeziehung

$$INV_{kt}^m \geq MI_{kt}^m, \quad \forall (t,k,m)$$

zugunsten der einfachen Plausibilitätsrelation

$$INV_{kt}^m \geq 0, \quad \forall (t,k,m) \text{ zu opfern.}$$

Während letztere eine zwingend zu realisierende Modellprämisse darstellt, kann erstere mit relativ einfachen Mitteln ex-post, d.h. nach dem Modellauf, durch exogene Eingriffe in die Ergebnisstrukturen herbeigeführt werden.

Man reduziert etwa positive Investitionsbeträge $INV_{kt}^m < \frac{1}{2} MI_{kt}^m$ ((t,k,m) beliebig) auf den Wert 0 und definiert komplementäre Investitionsaufwendungen $\frac{1}{2} MI_{kt}^m \leq INV_{kt}^m < MI_{kt}^m$ zur oberen Grenze MI_{kt}^m .

Anschließend prüfe man, ob hierdurch andere Relationen des Restriktionssystems verletzt werden. Wenn ja, wähle man eine beliebige andere Wertzuweisung für die zur Debatte stehenden INV_{kt}^m und führe eine erneute Gültigkeitskontrolle durch. Wenn nein, berechne man den neuen kostenminimalen Wert der Erklärungshypothese. -

2. Selbstverständlich muß zu jeder Periode t ($t = 1, \dots, T$) des Planungshorizonts T die Fortschreibung der Istanlagebestände $(k,m) \in \{(k,m) / k = 1, \dots, K; m = 1, \dots, M\}$, $\forall (k,m)$, durchgeführt werden. Dank der geschickten Formulierung unserer Infrastrukturelemente INV_{kt}^m kann eine solche Rechnung modelllexogen als Nebenrechnung erfolgen. Modellendogen stehen die fraglichen Anlageistbestände zu jeder Teilperiode t vermöge der Summe

$$\sum_{\hat{t}=t-m+1}^t INV_{kt}^m, \quad \forall (t,k,m)$$

zur Verfügung.-

Wir fassen zusammen: Die Analyse technisch-ökonomischer Knappheitsrelationen, welche bei der Minimierung der entscheidungsabhängigen Kostenwerte der Erklärungshypothese zu berücksichtigen sind, liefert uns die nachfolgenden Restriktionsschemata:

(1) Kapazitätsdimensionierung

$$\sum_{\hat{t}=t-m+1}^t INV_{kt}^m \geq AI_{ko}^m \left(\sum_{j=1}^J AH_{jt} \cdot \sum_{i=1}^I w_{io}^{jk} \cdot s_{it} \right), \quad \forall (t,k,m)$$

(2) Nichtnegative Investitionsaufwendungen

$$INV_{kt}^m \geq 0, \quad \forall (t,k,m)$$

Dabei sind beide Restriktionssysteme in der für Minimierungsprobleme typischen $\geq$ -Beziehung dargestellt.

Insgesamt müssen wir uns demnach mit der beachtlichen Zahl von

$$2 \cdot (T \cdot K \cdot M) = 2 \cdot (6 \cdot 10 \cdot 7) = 2 \cdot 420 = \underline{\underline{840}}$$

Nebenbedingungen technisch-ökonomischer Natur auseinanderzusetzen. Bereits an dieser Stelle sei deshalb erwähnt, daß wir anläßlich der Vorstellung unserer erweiterten Modellversion im Kapitel 2.3.3. eine erhebliche Verminderung der Anzahl modellendogen zu berücksichtigender Restriktionen anstreben. Aus Gründen der Erzielung erheblicher rechentechnischer Vereinfachungen (man denke an die nichtlineare Modellstruktur), wollen wir in diesem Zusammenhange eine recht einfache Heuristik präsentieren, welche uns den Verzicht auf Nichtnegativitätsrestriktionen der Art

$$INV_{kt}^m \geq 0, \quad \forall (t,k,m)$$

erlaubt und somit (insgesamt nahezu) eine Halbierung des zu bewältigenden Problemumfangs erzielt.

2.3.2.2. Die Darstellung der Budgetrestriktionen

Der uns nach expliziter Berücksichtigung technisch-ökonomischer Nebenbedingungen verbleibende Handlungsspielraum wird weiter eingeschränkt durch die Höhe der in den einzelnen Jahren t des Planungshorizonts T für Investitionen in

Betriebsmittel aller relevanten Anlagengattungen (k,m)
 $\in \{ (k,m) / k = 1, \dots K, m = 1, \dots M \}$ verfügbaren finanziellen Mittel. Es gelte

$$(3) \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \text{INV}_{kt}^m \leq \text{INVB}_t, \quad \forall t = 1, \dots T$$

Hierbei symbolisiere

$\sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \text{INV}_{kt}^m \dots$ die gesamten, zur Teilperiode t zu tätigen Ausgaben für Investitionen in Betriebsmittel aller Anlagentypen (k,m) [GE].

$\text{INVB}_t \dots$ das in t realiter verfügbare Ist-Investitionsbudget [GE] für Anlageninvestitionen ausweise.

Somit erfährt unser bisheriges, aus den Systemen (1) und (2) bestehendes Restriktionsschema von insgesamt 840 gültigen Nebenbedingungen eine Erweiterung um das Budgetierungssystem (3) von $T = 6$ einschlägigen Restriktionen. In summa sind nunmehr 846 Nebenbedingungen zu modellieren.

Nebenbei sei die nicht ganz unerhebliche Tatsache bemerkt, daß der Terminus

$$\sum_{m=1}^M \text{INV}_{kt}^m, \quad \forall (k,t),$$

nach erfolgter Berechnung einer optimalen Lösungsstruktur für die im strategischen Modellsystem niedergelegte Entscheidungssituation bezüglich jeder Hauptkostenstelle k ($k = 1, \dots K$) ein t-spezifisches Soll-Investitionsbudget ausweist, welches den Entscheidungsträgern nahelegt, zur Periode t ebendiese Summen an die fraglichen Fertigungseinheiten zu allozieren.

Von einer modellendogenen Berücksichtigung der Finanzierungslimits zur Steuerung der Ausgabetätigkeit für Investitionen in Sonderbetriebsmittel aller Art sei aus den nachfolgenden Gründen abstrahiert:

- Zum einen stellen diese Ausgaben, wie bereits mehrfach betont, nur einen verschwindend kleinen Bruchteil der jährlichen Gesamtausgabenvolumina für Investitionstätigkeiten dar und werden deshalb in der Erklärungshypothese unseres Entscheidungsmodells proportional zu den kostenstellenspezifischen, jährlichen Gesamtabschreibungsvolumina der entsprechenden Betriebsmittel periodisiert. Auf eine Modellierung der jeweiligen Zeitpunkte der Ausgabenwirksamkeit (Investitionszeitpunkte) wird also im Falle der Sonderbetriebsmittel verzichtet.
- Zum anderen würde der explizite Ausweis von jährlichen Finanzmittelbudgets für anlagentyp- sowie baureihenspezifische Spezialwerkzeuge gerade die modellendogene Erfassung der korrespondierenden Investitionszeitpunkte voraussetzen. Somit wäre eine erhebliche Steigerung der Komplexität unserer Modellrelationen in Kauf zu nehmen. Dies gilt umso mehr, als sich die Ausgabenwirksamkeit der Investitionen in anlagegebundene Sonderbetriebsmittel nach anderen Kriterien bemißt als dies bei den Aufwendungen für baureihengebundene Spezialwerkzeuge der Fall ist.

2.3.2.3. Die Erörterung von Systemen der Limitierung offener strategischer Handlungsspielräume durch allgemeine unternehmenspolitische Gründe

Die Einführung quantitativer Systeme der strategischen Planung in die unternehmerische Praxis ist gerade deshalb so delikats, weil die aktive Gestaltung der strategischen Spielräume einer Firma oft mit einer ganzen Reihe von Unwägbarkeiten (Imponderabilien) konfrontiert wird, welche meist einem (ungeschriebenen) Verhaltenscodex der Führungspersönlichkeiten entspringen und deshalb in der Regel einer planmäßigen Quantifizierung im Rahmen strategischer Entscheidungsmodelle nicht zugänglich sind. In diesem Zusammenhange kann man des öfteren Stimmen hören, die den planenden Stellen unverblümt eine diesbezügliche Ohnmacht unterstellen.

Wir sind jedoch der Meinung, daß sich auch solche allgemeine, meist abstrakt formulierte unternehmenspolitische Grundsätze quantitativ modellieren lassen, wenn nur seitens der Manager eine genügend hohe Bereitschaft besteht, entsprechende Informationen an die Planer weiterzuleiten, um diesen die Chance zu geben, antizipative statt reaktive Aktionsprogramme zu gestalten.

Wir kehren zu unserem konkreten strategischen Entscheidungsproblem zurück und halten fest, daß aus besagten unternehmenspolitischen Gründen eine zusätzlich, zeitraumbezogene Limitierung der geplanten Autarkiegrade in den einzelnen Konstruktionsgruppen j ($j = 1, \dots, J$) nach oben (AH_{jt} , $\nabla(j,t)$) und unten (AH_{jt} , $\nabla(j,t)$) wünschenswert sein kann.

Sind die Entscheidungsträger in der Lage, die genannten

Grenzen (AHO_{jt} , AHU_{jt}) für alle Kombinationen (j,t) in geeigneter Weise zu spezifizieren, so kann der zeitliche Entwicklungspfad der korrespondierenden Eigenfertigungsanteile vorprogrammiert werden. Hierfür mögen unter Umständen Überlegungen maßgeblich sein, die auf längere Sicht etwa neue Schwerpunkte der hausinternen Fertigung bestimmter Fahrzeugkomponenten j fordern. So kann beispielsweise ein stetiger Zuwachs der Zukäufe in einer beliebigen Konstruktionsgruppe beabsichtigt sein mit der Maßgabe, sich nach einem Zeitraum von etwa 10 Jahren völlig von der Eigenfertigung der entsprechenden Teile loszusagen. Es gelte also

$$AHU_{jt} \leq AH_{jt} \leq AHO_{jt}, \quad \forall (j,t).$$

Hieraus ergibt sich unter Berücksichtigung einer für Probleme der Minimierung adäquaten Restriktionsstruktur:

$$(4) \quad AH_{jt} \geq AHU_{jt}; \quad \forall (j,t), \quad AHU_{jt} \text{ fix} \quad (4.1.)$$

sowie

$$-AH_{jt} \geq -AHO_{jt}; \quad \forall (j,t), \quad AHO_{jt} \text{ fix} \quad (4.2.)$$

Dieses Restriktionsschema (4) erzwingt die modellendogene Berücksichtigung

$$2 \cdot (J \cdot T) = 2 \cdot (20 \cdot 6) = 2 \cdot 120 = \underline{\underline{240}}$$

zusätzlicher Nebenbedingungen. Insgesamt umfaßt unser Restriktionssystem nunmehr

$$846 + 240 = \underline{\underline{1086}}$$

Relationen der Begrenzung des zu gestaltenden strategischen Handlungsspielraumes, wenn man davon ausgeht, daß dieser

keine weiteren, absehbaren Einschränkungen durch allgemeine unternehmenspolitische Prinzipien erfährt.

Angeichts des beeindruckenden Umfangs der von uns modellmäßig auszuwertenden Problemstellung von 540 echten Entscheidungsvariablen sowie 1086 handlungsrelevanten Limitierungsbeziehungen muß sich die im nächsten Kapitel vorzustellende erweiterte Modellversion auch mit der Fragestellung befassen, inwieweit durch intelligentere Formulierungen der Modellstruktur eine Problemreduktion induziert werden kann. Dies erscheint umso notwendiger, als die Modellauswertungen über Methoden der nichtlinearen Programmierung gefahren werden müssen.

2.3.3. Die Einführung fakultativer, ziel- und handlungsrelevanter Strukturmerkmale in der erweiterten Version des strategischen Entscheidungsmodells

Bevor wir mit diesbezüglichen Ausführungen beginnen wollen, sei die Grundkonzeption des Planungsmodells zur Entwicklung einer wirtschaftlichen Produktions-Infrastruktur nochmals im Gesamtzusammenhang dargestellt:

$$\begin{aligned} \text{Min}_{AH_{jt} \text{ } INV_{kt}^m} \quad K = & \sum_{t=1}^T \left[\sum_{j=1}^I \left\{ \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K w_{io}^{jk} \cdot s_{it} \cdot \right. \right. \\ & \cdot \left. \left[-b_{jo} \cdot AH_{jt}^2 + (1-a_{jo} + b_{jo}) \cdot AH_{jt} + a_{jo} \right] \right\} + \\ & + \sum_{k=1}^K \left\{ (1 + c_{kt}^a + \sum_{i=1}^I c_{kt}^i) \cdot \left[\sum_{m=1}^{M-1} \frac{1}{m} \sum_{\hat{t}=t-m+1}^t INV_{kt}^m \hat{+} \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{1}{12} \sum_{\hat{t}=t-M+1}^t INV_{kt}^M \right] \right\} \end{aligned}$$

s.c. (1) Kapazitätsdimensionierung

$$\sum_{\hat{t}=t-m+1}^t \text{INV}_{kt}^m - \text{AI}_{ko}^m \left(\sum_{j=1}^J \text{AH}_{jt} \cdot \sum_{i=1}^I w_{io}^{jk} \cdot s_{it} \right) \geq 0,$$

$$\forall (t, k, m).$$

(2) Nichtnegative Investitionsaufwendungen

$$\text{INV}_{kt}^m \geq 0, \quad \forall (t, k, m)$$

(3) Budgetierung

$$- \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \text{INV}_{kt}^m + \text{INVB}_t \geq 0, \quad \forall t$$

(4) A-priori-Limitation der Autarkiegrade

$$(4.1.) \quad \text{AH}_{jt} \geq \text{AHU}_{jt}, \quad \forall (j, t)$$

$$(4.2.) \quad -\text{AH}_{jt} \geq -\text{AHO}_{jt}, \quad \forall (j, t)$$

Hierbei gelte im übrigen:

$i = 1, \dots, I$, mit $I = 4$ (Modellbaureihen)

$j = 1, \dots, J$, mit $J = 20$ (Konstruktionsgruppen_

$k = 1, \dots, K$, mit $K = 10$ (Hauptkostenstellen)

$m = 1, \dots, M$, mit $M = 7$ (Anlagen-Lebensdauer-
klassen)

$t = 1, \dots, T$, mit $T = 6$ (Planperioden).

Die hier dargestellte Grundkonzeption eines strategischen Entscheidungsmodells der Akquisitions- und Investitionsplanung bedarf jedoch, wie bereits des öfteren angedeutet, auch einiger wichtiger Ergänzungen, um den komplexen Umweltbedingungen gerecht zu werden, mit denen die Automobilindustrie auch künftig konfrontiert sein wird. Hierzu werden wir im ersten Teilabschnitt dieses Kapitels ausführlich Stellung nehmen.

In einem zweiten Teilabschnitt seien hingegen Maßnahmen präsentiert, die sich mit Möglichkeiten der sinnvollen Reduktion des nutzbaren Entscheidungsraumes einerseits sowie des modellendogen zu handhabenden Restriktionssystems andererseits zu befassen haben. In diesem Zusammenhang sei betont, daß die im ersten Abschnitt erläuterten, fakultativen Modellerweiterungen ausschließlich die inhaltliche Gestaltung der ziel- und handlungsrelevanten Umweltfaktoren betreffen. -

2.3.3.1. Die modellendogene Berücksichtigung des Einflusses von Umweltturbulenzen mittels dynamisierter Parameterwerte und zusätzlicher Korrekturfaktoren

In den bisher präsentierten Modellrelationen wurde stets die zeitliche Invarianz der erfaßten (entscheidungsrelevanten) Umweltfaktoren über alle Teilperioden des Planungshorizonts T unterstellt. Naturgemäß kann ein solches Vorgehen nicht den realitären Verhältnissen entsprechen, da das betriebliche Umfeld im Zuge der zeitlichen Entwicklung einem stetigen oder aber auch abrupten Wandel unterliegt. Die explizite Berücksichtigung zeitlicher Varianzen stellt

jedoch weitaus höhere Ansprüche an entsprechende Aktivitäten der Datenbeschaffung. Wollen wir uns diesbezügliche Mühen ersparen, können wir unser strategisches Basismodell der Akquisitions- und Investitionsplanung zur Gewinnung entsprechender, tendenziell den realen Gegebenheiten nahekommender Ergebnismerkmale einsetzen. Erstreben wir jedoch eine bestmögliche Approximation realer Strukturen, so gilt es

- Preisentwicklungen bei maschinellen Anlagen, Zulieferern sowie Güterverzehren, welche Bestandteile der basisinternen Fertigungskosten darstellen,
 - technische Reifungsprozesse bei Produktionstechnologien und nicht zuletzt
 - Auswirkungen veränderter Produktkonzeptionen
- gesondert in den Strukturen des Entscheidungskalküls zum Ausdruck zu bringen.

2.3.3.1.1. Die Erfassung des Einflusses inflationärer Prozesse auf das Wertgerüst entscheidungsabhängiger Kosten

Die Grundkonzeption unseres strategischen Entscheidungsmodells beruht offensichtlich auf der Annahme langfristig stabiler Preise und Kosten. Unterschiedliche inflationäre Trends bei hausinternen Fertigungskosten, Fremdbezugskosten sowie Anlagenbeschaffungspreisen können jedoch die optimale Aufteilung zwischen Haus- und Fremdfertigung verschieben. Zum Zwecke der Spezifizierung geeigneter Fertigungskostenparameter $w_{it}^{jk} + w_{io}^{jk}$ bedarf es im einzelnen der nachfolgenden Maßnahmen:

- Die variablen Fertigungskosten derjenigen Teile, welche
 - im Wege einer geschichteten Stichprobe vom Umfange n

- zur Ermittlung (i,j,k) - spezifischer Kostenwerte der bezeichneten Art ausgewählt wurden und überdies
- zu $t = 0$ in Hausfertigung befindlich sind, müssen durch Multiplikation mit geeigneten Inflationsfaktoren, die von den Mitarbeitern der technischen Stellen geschätzt werden können, an die erwarteten Preisniveaus der Planperioden $t = 1, \dots T$ herangeführt werden.
 - Analoges ist für die Kostenwerte der operativen Bezugsartanalysen zu fordern, die im Laufe der Basisperiode ($t=0$) und/oder der vorhergehenden Periode initiiert wurden. Erst dann gelingt die Ermittlung echt zeitabhängiger Hausfertigungskostenzuschlagsfunktionen $H_{jt}^i := H_{jt}^i (AH_{jt})$, $\forall t = 1, \dots T$. Entsprechend der Anzahl zu betrachtender Planperioden steht mithin für jedes (i,j) eine Schar von H_{jt}^i zur Disposition, die wir letztlich, wie bereits ausführlich beschrieben, zur Berechnung der kumulativen, jetzt aber zu aktuellen Hauspreisen (bezüglich t) bewerteten Wertschöpfungsbeträge für solche Teile aus unserer geschichteten Stichprobe benützen, die zu $t = 0$ zugekauft werden.

Sind die genannten Voraussetzungen erfüllt, bietet die Berechnung der w_{it}^{jk} analog dem in Abschnitt 2.3.1.1. dargelegten Procedere zur Ermittlung der w_{io}^{jk} keine gesonderten Schwierigkeiten mehr.

Mit der Inflationierung der Kostenwertreihen der Bezugsartenanalysen der Basisperiode $t = 0$ ist auch der Grundstein zur Errechnung zeitlich flexibler Bezugskostenkorrekturfunktionen $F_{jt} = F_{jt} (AH_{jt})$, $\forall t = 1, \dots T$ gelegt worden. Jeder Konstruktionsgruppe j ($j = 1, \dots J$) kann somit eine entsprechende Funktionsschar der Mächtigkeit $T = 6$ zu-

gewiesen werden. Die Abb. 11 zeigt eine solche Abfolge von Relationen für ein beliebiges j , wobei das Preisniveau positiv mit dem Index der jeweiligen Kurve korreliert. Somit kann die Dynamisierung der zu betrachtenden Wertschöpfungssummen als abgeschlossen betrachtet werden. Unterstellen wir einmal die Absenz technischen Fortschritts bei den Prozeßtechnologien ($AI_{kt}^m : = AI_{ko}^m, \forall t = 1, \dots, T$), welcher erst im nächsten Abschnitt explizit in unsere Betrachtungen eingeführt werden soll, so können auch die (k,a) -spezifischen Anlagenbedarfe AB_{kt}^m , die sich ex definitione proportional zu den kostenstellenbezogenen Wertschöpfungsbeträgen verhalten, als zeitlich flexibel angesehen werden.

Wenn jedoch die Anlagensollbestände (AB_{kt}^m) nicht mehr zu konstanten Preisen des Basisjahres $t = 0$ bewertet werden, muß auch die effektive (m -spezifische) Anlagenverfügbarkeit

$$\sum_{t=t-m+1}^t INV_{kt}^m$$

in den jeweiligen Hauptkostenstellen k zu den entsprechenden Tagespreisen der betrachteten Periode t bemessen werden. Eine diesbezügliche Unterlassung könnte nämlich zur Auslösung von Investitionsaktivitäten führen, die nicht auf Steigerungen des Mengengerüsts der zu erbringenden Wertschöpfungsbeträge zurückzuführen sind (rein preisinduzierte Anlageninvestitionen).

Andererseits besteht die Notwendigkeit, die Kommensurabilität der INV_{kt}^m ($\forall (t,k,m)$) sicherzustellen, da es sich hierbei um echte Entscheidungsvariablen handelt, die ex definitione einer gemeinsamen Meßgrundlage bedürfen. Wenn zu diesem Zwecke das Anlagenpreisniveau der Basisperiode $t = 0$ beibehalten wird, empfiehlt sich die Einführung eines Preis-

korrekturfaktors auf die Infrastrukturkonzeption INV_{kt}^m . Mithin symbolisieren die Größe APT_{kt}^m den allgemeinen Anlagenpreistrend bezüglich Teilperiode t für Betriebsmittel der Gattung (k,m) . Die effektive Anlagenverfügbarkeit in k während t kann dann durch den für jede Lebensdauerklasse m typischen Ausdruck

$$\sum_{t=T-m+1} INV_{kt}^m \cdot APT_{kt}^m$$

umschrieben werden. Die in der Erklärungshypothese unseres Modellsystems zur strategischen Akquisitions- und Investitionsplanung zum Ansatz gebrachten k -spezifischen Abschreibungsbeträge für Teilperiode t sind selbstverständlich in analoger Weise zu berichtigen. Dadurch erfahren auch die Abschreibungsbeträge auf Sonderbetriebsmittel, welche nur proportional zu den jeweiligen, bezüglich dynamisierten Gesamtbeschreibungsvolumina zu sehen sind, adäquate Preiskorrekturen. Schließlich sei darauf hingewiesen, daß der Preisanpassungsfaktor APT_{kt}^m ($\psi(t,k,m)$) gezwungenermaßen in die Bestimmungsformel für kostenstellenspezifische Soll-Investitionsbudgets Einzug halten muß. So ergibt sich unsere Budgetierungsrestriktion

(3) zu

$$(3) - \sum_{k=1}^K \left(\underbrace{\sum_{m=1}^M APT_{kt}^m \cdot INV_{kt}^m}_{\text{Soll-Investitionsbudget (k,t)}} \right) + \underbrace{INVB_t}_{\text{in Preisen der Periode t}} \geq 0, \quad \forall t = 1, \dots, T.$$

Die für alle Investitionsaufwendungen (t,k,m) gleichermaßen Gültigkeit besitzende Nichtnegativitätsbedingung bleibt hingegen aus formalmathematischen Gründen von Preisanpassungen unberührt, wenn stillschweigend $APT_{kt}^m > 0$ ($\psi(t,k,m)$) unterstellt wird:

$$(2) \quad \text{APT}_{kt}^m \cdot \text{INV}_{kt}^m \geq 0 \implies \text{INV}_{kt}^m \geq 0, \quad \forall (t, k, m).$$

Zum Abschluß dieser Erörterungen wollen wir betonen, daß in Analogie zur oben beschriebenen Vorgehensweise selbstverständlich auch Kostentrends in den Entscheidungskalkül aufgenommen werden könnten, welche von der allgemeinen Inflationsentwicklung abweichen. In diesem Falle ist jedoch erhöhte Vorsicht geboten, da die implizite Berücksichtigung solcher Preisschübe in den bereits definierten Kostenparametern (etwa w_{it}^{jk} oder auch a_{jt} , b_{jt}) geeignet ist, die mutuelle Kommensurabilität von Anlagenbedarf und Anlagenverfügbarkeit in den Kapazitätsdimensionierungsrestriktionen in Frage zu stellen. In diesem Zusammenhange sei nochmals hervorgehoben, daß sich diese Problematik beim Einbezug allgemeiner Preissteigerungstrends i.d.R. nicht stellt, da sowohl Anlagenanschaffungspreise als auch die Wertgerüste der Produktionskosten in etwa gleichgerichteten inflationären Prozessen unterworfen sind. Wenn überhaupt, sollte die modellendogene Berücksichtigung außerordentlicher Preisschübe ausschließlich im Wege des Ansatzes eigens zu diesem Zwecke erklärter Preiskorrekturfaktoren geschehen. Die Verwendung solcher Berichtigungsgrößen sollte darüber hinaus auf Erklärungshypothese und Budgetierungsrestriktionen beschränkt sein, um die Aussagefähigkeit der Kapazitätsdimensionierungssysteme sicherzustellen.

2.3.3.1.2. Der Einbezug technischen Fortschritts in der Prozeßtechnologie und dessen Auswirkungen auf die Kostenbestimmungsfaktoren

Es wurde bereits an früherer Stelle erläutert, daß die Basisversion unseres strategischen Modellsystems auf der Annahme einer langfristig unveränderten Fertigungstechnologie beruht. Dieser Tatbestand äußert sich vordergründig in der Konstanzhaltung der Anlagenintensitäten

$$AI_{kt}^m := AI_{ko}^m, \quad \forall t = 1, \dots, T \text{ sowie } \forall (k, m).$$

Somit wird angenommen, daß die während des Planungszeitraums T vorzunehmenden Ersatz- und Erweiterungsinvestitionen keinerlei Rationalisierungseffekte in dem Sinne zeitigen, daß die maschinelle Produktivität über die Zeit zunehmen würde. Mithin wird unterstellt, daß sich der Wirkungsgrad der zum Zeitpunkt $t = 0$ bekannten Prozeßtechnologien über alle Planperioden t reproduziert.

Es ist nun an der Zeit, den technischen Fortschritt explizit in unserer Modellstruktur zu berücksichtigen. Wir wissen, daß die technische Zentralplanung in der Lage ist, für jede bereits im Unternehmen eingesetzte Fertigungstechnologie $(k, m) \in \{(k, m) / k = 1, \dots, K; m = 1, \dots, M\}$ entsprechende Zeitpfade der Anlagenintensität

$$AI_{kt}^m = AI_{kt}^m(\tau); \quad \forall (k, m), \tau \in \mathbb{R}$$

zu schätzen. Auf diese Weise können wir die absehbar eintretenden technischen Weiterentwicklungen bereits bekannter (erprobter) Prozeßtechnologien endogenisieren.

Wir formulieren:

$$\sum_{\hat{t}=t-m+1}^t APT_{kt}^m \cdot INV_{kt}^m - AI_{kt}^m \cdot \left(\sum_{j=1}^J AH_{jt} \cdot \sum_{i=1}^I w_{it}^{jk} \cdot S_{it} \right), \quad \forall (t, k, m),$$

wobei die AI_{kt}^m (~~W~~ (t,k,m)) Funktionen der Zeit sind, die über ihren gesamten Definitionsbereich hinweg einen monoton fallenden Verlauf aufweisen (vgl. hierzu auch Abschnitt 2.3.2.1.). Dies zeigt deutlich, daß vermöge eines solchen funktionalen Zusammenhanges nur ein Aspekt der Produktivitätssteigerung erfaßt werden kann: Geringerer mengenmäßiger Input an Produktionsfaktoren (wertmäßiges Anlagenvolumen der Gattung (k,m)) zur Erzeugung mengen- und wertmäßig konstanter Outputs (Wertschöpfung von einer Geldeinheit).

Durch den Einsatz effizienterer Technologien induzierte Produktivitätsfortschritte dokumentieren sich jedoch gleichermaßen in abnehmenden Mengengerüsten der Fertigungs- und Herstellkosten (wie etwa geringere Ausschußquoten und/oder weniger Verschnitt etc.). Da aus Konkurrenzgründen wohl mit Sicherheit anzunehmen ist, daß der technische Fortschritt auch im Zulieferbereich diffundiert, kann man davon ausgehen, daß sich die Kostensituation der Lieferanten über die Zeit auf niedrigeren Ebenen konkretisieren wird. Demzufolge kann auch (ceteris paribus) mit abnehmenden Fremdbezugskosten (~~W~~ $j=1, \dots, J$) gerechnet werden. Wir definieren

tf_{jt} ... als den in Periode t anzusetzenden Kostenkorrekturfaktor zur modellendogenen Berücksichtigung der rein (kosten-)mengengerüstbezogenen Effekte der Einführung leistungsfähigerer Technologien bei der Produktion j -spezifischer Fahrzeugkomponenten.

Den obigen Ausführungen zufolge

- gelte tf_{jt} für selbsterstellte wie fremdbezogene Wertschöpfungsleistungen (WE_{jt} , WF_{jt}) gleichermaßen.
- kann als gesichert gelten, daß $[tf_{jt}]$ bezüglich t eine monoton abnehmende Folge von Werten bildet.

- darf $tf_{jt}(\star(j,t))$ sowohl in der Zielfunktion, als auch in den Kapazitätsdimensionierungsrelationen unseres Modellsystems zum Zuge kommen. Der Ansatz dieser Korrekturfaktoren in den Bestimmungsgleichungen des effektiven, wertschöpfungsbezogenen Anlagenbedarfs AB_{kt}^m kann nicht etwa zu ungerechtfertigten Unterbewertungen dieser Größen führen, da die hierdurch zum Ausdruck gebrachten "side-effects" des technischen Fortschritts eindeutige Mengenwirkungen zeitigen. So kann es keinesfalls zu unbeabsichtigten Unterlassungen notwendiger Anlageninvestitionen kommen ("Investitionsstaus").

Abschließend sei festgehalten, daß auch alternative, in den Fertigungseinheiten noch nicht eingesetzte Prozeßtechnologien durch entsprechende Korrekturfaktorensätze im Modell abgebildet werden können. Die rein mengenmäßigen Auswirkungen der mit solchen neuartigen Technologien verbundenen Innovationsschübe können etwa durch lineare Transformationen der Anlagenintensitätsfunktionen AI_{kt}^m bereits eingesetzter, artenverwandter Technologien erfaßt werden:

$$AI_{kt}^m(\tau) \rightarrow \alpha_k^m + \beta_{kt}^m(\tau) \cdot AI_{kt}^m(\tau), \star(t,k,m), \tau \in \mathbb{R},$$

wobei $\alpha_k^m \in \mathbb{R}_0^-$ (parallele Verschiebung der Kurve nach

unten, ceteris paribus $\beta_{kt}^m(\tau)$)

sowie $0 < \beta_{kt}^m(\tau) \leq 1$ ($\star \tau, \star(k,m)$, Modifikation des Steigungsverhaltens von $AI_{kt}^m(\tau)$). Selbstverständlich sind die hierzu notwendigen Parameterwerte ($\alpha_k^m, \beta_{kt}^m(\tau)$) wiederum von den Experten der technischen Planung zu erbringen (vgl. hierzu auch Kap. 2.3.2.1.).

Die rein wertmäßigen Auswirkungen der Einführung alternati-

ver Prozeßtechnologien können hingegen analog der Vorgehensweise bei Endogenisierung technischer Weiterentwicklungen bereits bekannter Produktionstechniken wenn überhaupt, dann nur durch den Ansatz zielrelevanter Abschlagssätze auf variable Hausfertigungs- sowie Bezugskosten in die Modellstrukturen aufgenommen werden. Auf eine gesonderte Beschreibung dieser Prozederes sei jedoch an dieser Stelle aufgrund hierbei auftretender Abgrenzungsprobleme verzichtet.

Somit wird offenbar, daß durch entsprechende Modellrechnungen mit alternativen Datensätzen die Möglichkeit eröffnet wird, Attraktivität und Auswirkungen neuartiger Fertigungstechnologien im Produktionsverbund quantitativ zu bewerten.

2.3.3.1.3. Die Berücksichtigung veränderter Produktkonzeptionen und deren Einfluß auf die innerhalb des Planungszeitraums zu befriedigenden Kapazitätsbedarfe

Der langfristige Wandel in der Produktkonzeption, welcher sich in der schon heute abzeichnenden, immer größeren Bedeutung elektronischer Systeme, neuartiger Bremssysteme (Anti-Blockier-Systeme) sowie Cockpit-Computern (Check-Control) dokumentiert, schlägt sich in Schwerpunktverschiebungen zwischen den Konstruktionsgruppen und somit auch in veränderten Kapazitätsanforderungen nieder.

Wir können diese Effekte durch entsprechende Korrekturfaktoren auf die Kostenparameter w_{it}^{jk} ($\forall (i,j,k,t)$) in der Modellstruktur unseres strategischen Entscheidungskalküls explizit zum Ansatz bringen:

$$w_{it}^{jk} \longrightarrow p_{it}^{jk} \cdot w_{it}^{jk}, \quad \forall (i,j,k,t), \quad \text{wobei} \quad p_{it}^{jk} \in \mathbb{R}.$$

Die Einführung neuer, technisch aufwendiger Lösungen in bestimmte Technologiegattungen (i,j) hat wohl zunächst eine Steigerung der (i,j,k) -spezifischen Wertschöpfungskosten zur Folge ($p_{it}^{jk} > 0$ für bestimmte (i,j,k,t)), wohingegen mit zunehmendem t im Zuge des Einflusses von Degressions- und Erfahrungseffekten eher mit entsprechend abnehmenden Kostenwerten ($p_{it}^{jk} < 0$ für bestimmte (i,j,k,t)) zu rechnen ist. Da wir von den Mitarbeitern der technischen Planung entsprechende Schätzungen bezüglich der mengenmäßigen Effekte der zur Debatte stehenden neuartigen Produkttechnologien erwarten dürfen, kann auch von der Handlungsrelevanz der Parameter p_{it}^{jk} ($\neq (i,j,k,t)$) ausgegangen werden, welche sich in variierenden Kapazitätsbedarfen dokumentiert.

In diesem Zusammenhange wollen wir auch der Frage nachgehen, inwieweit durch Anlageninvestitionen induzierte, zusätzlich während t in den Produktivkostenstellen k anfallende echte Gemeinkosten (wie etwa Mieten für zusätzlichen Raumbedarf, Löhne für zusätzlich eingestelltes Personal u.ä.m.) in den entscheidungsabhängigen Kosten der Wertschöpfung berücksichtigt werden sollten.

Im Normalfall kann man davon ausgehen, daß diese in unserem Entscheidungsmodell zunächst vernachlässigten Kostenarten

- zum einen in betragsmäßiger Hinsicht weder mit den erfaßten variablen Fertigungs- bzw. Fremdbezugskosten, noch mit den explizit zum Ansätze gebrachten Investitionsaufwendungen für Betriebs- und Sonderbetriebsmittel konkurrieren und
- zum anderen für alle betrachteten Kostenstellen k mit gleicher Wahrscheinlichkeit anfallen können.

Diese in Zusammenarbeit mit technischen Planern auf Basis

einer diesbezüglichen Analyse von Investitionsbewilligungsanträgen der Vergangenheit gewonnene Erkenntnis stützt unsere These von der faktischen Entscheidungsunabhängigkeit dieser Kostenarten. Ihre Einbindung in den Entscheidungskalkül würde lediglich die resultierenden Ergebnismerkmale auf einem höheren Niveau konkretisieren.

Im Falle der Endogenisierung langfristig veränderter Produktkonzeptionen sind die beiden genannten Voraussetzungen fehlender Entscheidungsrelevanz jedoch in aller Regel nicht gegeben. Dies kann damit begründet werden, daß sich produkttechnologische Neuerungen ex definitione auf bestimmte (Produkt-)Technologiebereiche j erstrecken und somit von der Hypothese einer Gleichverteilung zusätzlich entstehender Gemeinkosten abstrahiert werden muß. Zudem muß bei Einführung neuartiger Produktkomponenten mit u.U. erklecklichen Zusatzbeträgen im Fixkostenbereich gerechnet werden. Diesem Umstand sei nun durch die Definition der Parameter pg_{kt}^{ij} Rechnung getragen. Hierunter wollen wir alle bezüglich k während t zu tätigen Aufwendungen subsumieren, die in ursächlichem Zusammenhange mit Investitionen in Betriebsmittel der Gattung k stehen, welche im Laufe des Planungshorizonts der Erstellung geplanter Wertschöpfungsbeträge neuartiger Produktkomponenten (i,j) dienen. Wenn wir eine Handlungsrelevanz dieser Kostenwerte mit Gemeinkostencharakter verneinen in dem Sinne, daß die Ermittlung der Anlagenbedarfe Ap_{kt}^m hiervon unbeeinflusst bleibt, kann in der Zielfunktion unseres Entscheidungsmodells der Kostenbetrag

$$\sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I pg_{kt}^{ij}$$

als zusätzlicher Summand veranschlagt werden. Es ist dies ein weiteres Indiz für die strukturelle Flexibilität unseres

Modellsystems, die sich in der grundsätzlichen Offenheit dokumentiert, auch außerordentliche, für die Automobilindustrie gleichwohl charakteristische Tatbestände von potentieller Entscheidungsrelevanz im Konzept zu erfassen.

2.3.3.1.4. Die zusammenfassende Darstellung der erweiterten Version des strategischen Entscheidungsmodells mit dynamisierten Parameterwerten und zusätzlichen Korrekturfaktoren

Bevor wir im Rahmen des nächsten Abschnittes einige Vorschläge zur Verringerung der konkret zu bewältigenden Problemdimensionen unterbreiten werden, wollen wir zunächst einmal den Entwicklungsstand unseres Modellkonzepts im Überblick veranschaulichen, wie es sich nach der Einführung modifizierter Umweltparameter präsentiert. Diese Modifikationen bieten dem Entscheidungsträger rein fakultative Optionen, je nach Typus der zu lösenden Problemstellung das betriebliche Umfeld nach Merkmalen zu sortieren, die er als entscheidungsrelevant erachtet. Unterbleibt die Spezifikation dieser fakultativen Elemente, so wird systemintern eine neutrale Initialisierung durchgeführt: Additive Komponenten werden mit dem Werte "0", multiplikative Kennzahlen hingegen mit der Ziffer "1" belegt. Diese Maßnahme betrachten wir als wesentlichen Beitrag zu einer benutzerfreundlichen Ausgestaltung unseres strategischen Entscheidungsmodells (vgl. hierzu insbesondere Kapitel 4.2.).

$$\begin{aligned} \text{Min}_{\text{AH}_{jt}, \text{INV}_{kt}^m} \quad K &= \sum_{t=1}^T \left[\sum_{j=1}^J \text{tf}_{jt} \cdot \left\{ \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K p_{it}^{jk} \cdot w_{it}^{jk} \cdot s_{it} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \cdot \left[-b_{jt} \text{AH}_{jt}^2 + (1-a_{jt} + b_{jt}) \text{AH}_{jt} + a_{jt} \right] \right\} + \right. \end{aligned}$$

$$+ \sum_{k=1}^K \left\{ \left(1 + c_{kt}^a + \sum_{i=1}^I c_{kt}^i \right) \cdot \left[\sum_{m=1}^{M-1} \frac{1}{m} \sum_{\hat{t}=t-m+1}^t APT_{kt}^m \cdot INV_{kt}^m + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{1}{12} \sum_{\hat{t}=t-M+1}^t APT_{kt}^M \cdot INV_{kt}^M \right] \right\} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I pg_{kt}^{ij} \Bigg]$$

s.a. (1) Kapazitätsdimensionierung

$$\sum_{\hat{t}=t-m+1}^t APT_{kt}^m \cdot INV_{kt}^m - (\alpha_k^m + \beta_{kt}^m \cdot AI_{kt}^m) \cdot \left[\sum_{j=1}^J tf_{jt} \cdot \right. \\ \left. \cdot AH_{jt} \cdot \sum_{i=1}^I p_{it}^{jk} \cdot w_{it}^{jk} \cdot s_{it} \right] \geq 0, \quad \forall (t, k, m)$$

(2) Nichtnegative Investitionsaufwendungen

$$INV_{kt}^m \geq 0, \quad \forall (t, k, m)$$

(3) Budgetierung

$$- \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M APT_{kt}^m \cdot INV_{kt}^m + INVB_t \geq 0, \quad \forall t$$

(4) A - priori - Limitation der Autarkiegrade

$$(4.1.) \quad AH_{jt} \geq AHU_{jt}, \quad \forall (j, t)$$

$$(4.2.) \quad -AH_{jt} \geq -AHO_{jt}, \quad \forall (j, t)$$

mit $i = 1, \dots, I$ ($I=4$); $j = 1, \dots, J$ ($J=20$); $k = 1, \dots, K$ ($K=10$);
 $m = 1, \dots, M$ ($M=7$); $t = 1, \dots, T$ ($T=6$).

2.3.3.2. Möglichkeiten einer sinnvollen Einschränkung der zu bewältigenden Problemdimensionen

Bereits im Rahmen der Erläuterungen des Kapitels 2.2.3. haben wir einen adäquaten Vorschlag zur Reduktion unseres dymanisierten Entscheidungsraumes E_T gemacht. In diesem Zusammenhange wurde empfohlen, die Infrastrukturkonzeptionen AH_{jt} ($\mathcal{A}(j,t)$) als monotone Funktionen der Zeit zu betrachten. Eine solche Vorgehensweise läßt sich aus der Erkenntnis ableiten, daß die Entscheidungsträger in aller Regel Sorge tragen für ein Mindestmaß an Stetigkeit der Entwicklung der Handelsvolumina mit Lieferanten einerseits, sowie des Wachstums der Unternehmensaktiva andererseits. Mit anderen Worten: Eine oszillierend verlaufende Entwicklung der Autarkiegrade AH_{jt} ($\mathcal{A}(j,t)$) über die Zeit, d.h. insbesondere im Verlaufe des Planungszeitraumes T , ist in hohem Maße unerwünscht. Bisher haben wir diesem Umstand dadurch Rechnung getragen, daß dem Entscheidungsträger (per Restriktion des potentiellen Handlungsspielraums) die Möglichkeit eröffnet wurde, für jedes AH_{jt} einen Zielkorridor $[AHU_{jt}; AHO_{jt}]$ vorzugeben, der ein Spiegelbild der langfristigen akquisitionspolitischen Zielsetzungen des Unternehmens darstellt.

Diese Vorgehensweise hat einen zwar nur formellen, jedoch einschneidenden Nachteil: Wir sind gezwungen, $2 \cdot (J \cdot T) = 2 \cdot (20 \cdot 6) = 240$ zusätzliche Nebenbedingungen ("a-priori-Limitation der Autarkiegrade") in unser Restriktionssystem aufzunehmen. Der nachfolgende, alternative Vorschlag bietet hingegen eine entscheidende Verringerung unseres Entscheidungsraumes E_T bei nur geringfügiger Erweiterung des ursprünglichen Nebenbedingungsschemas (Ungleichungen (1) bis (3)).

Zunächst definieren wir die funktionale Beziehung

$$AH_{jt} := AH_{jt}(\tau), \quad \forall (j,t) \text{ sowie } \tau \in [0; T], \text{ mit } T=6.$$

AH_{jt} sei also für alle (j,t) eine stetige, monotone Funktion der Zeit. Wir verfügen zur Basisperiode $t = 0$ lediglich über den Initialwert $AH_{j0}(0)$, die restlichen Merkmalswerte stehen im Ermessen des Entscheidungsträgers, wobei wir uns auf die Betrachtung der diskreten Ausprägungen des Definitionsbereichs $D_{AH_{jt}} = [0; 6]$ beschränken können.

Um eine möglichst intensive Verringerung der Anzahl an Entscheidungsvariablen zu erzielen, ohne aber dabei eine Aushöhlung realiter existierender planerischer Freiheitsgrade zu betreiben, wollen wir den Entscheidungsträgern ausschließlich zu den Zeitpunkten $\tau = 3$ sowie $\tau = 6$ die Möglichkeit bieten, über die jeweiligen AH_{jt} zu befinden. Hierbei soll gelten:

$$AH_{j6}(6) \geq AH_{j3}(3), \quad \forall AH_{j3}(3) \geq AH_{j0}(0), \text{ sowie}$$

$$AH_{j6}(6) \leq AH_{j3}(3), \quad \forall AH_{j3}(3) \leq AH_{j0}(0).$$

Diese Bedingung drücke den Wunsch der Entscheidungsträger aus, die entsprechenden Autarkiegrade über die Zeit entweder gleichmäßig anwachsen oder aber stetig abnehmen zu lassen. Hieraus ist klar ersichtlich, daß der Entscheidende selbst die ihm zur Periode $(t + 1)$ offenstehenden planerischen Freiheitsgrade durch seine zu t getroffenen Entscheidungen beschneidet. Daher impliziert eine lineare Rekonstruktion der Eigenfertigungsanteile zu $\tau = 1, 2, 4, 5$ aus den freien Zielwerten AH_{j3} sowie AH_{j6} (vgl. hierzu Abb. 12) keinen drastischen Eingriff in die Entscheidungsautorität des Managements. Vielmehr wählt der Entscheidungsträger kraft der

Festlegung von AH_{j3} und AH_{j6} ($j = 1, \dots, J$) auch gleichzeitig die Geschwindigkeit, mit der diese Werte im Zuge des Planungshorizonts zu realisieren sind. Wir sind der Meinung, daß eine gleichförmige Entwicklung der Autarkiegrade entlang der Zeitachse dem Ideal der möglichst stetigen Zu- oder Abnahme dieser Größen und damit dem im Unternehmen typischen diesbezüglichen Entscheidungsverhalten am nächsten kommt.

Wir definieren nun

$d AH_{j3} := AH_{j3} - AH_{j0}$, wobei $AH_{j0} = \text{fix}$ (zu $t = 0$ bekannt),

sowie $d AH_{j3} \in [-AH_{j0}; 1 - AH_{j0}]$

als den geplanten Zuwachs (≥ 0 , < 0) des Eigenfertigungsanteils in Kogruppe j ($j = 1, \dots, J$) zum Ende der Periode $t = 3$ bezüglich der Initialperiode $t = 0$, so daß

$$AH_{j3} = AH_{j0} + d AH_{j3}.$$

Daher gilt nun für alle $\{t / t \leq 3 \wedge t \in \{1, 2, \dots, 6\}\}$:

$$AH_{jt} := AH_{j0} + \frac{t}{3} d AH_{j3}.$$

Die bezeichneten AH_{jt} ergeben sich somit gemäß dem obigen Zusammenhange aus der linearen Kombination des gegebenen Hausfertigungsanteils AH_{j0} mit dem entsprechenden, zu $t = 3$ angestrebten Wert AH_{j3} (j).

In völlig äquivalenter Weise definieren wir

$$d AH_{j6} := AH_{j6} - AH_{j3} = AH_{j6} - AH_{j0} - d AH_{j3}, \text{ wobei}$$

$$d \text{ AH}_{j6} \in [- \text{AH}_{j0} - d \text{ AH}_{j3}; 1 - \text{AH}_{j0} - d \text{ AH}_{j3}]$$

als den geplanten Zuwachs (≥ 0 , < 0) des Hausfertigungsanteils in Konstruktionsgruppe j ($\forall j$) zum Ende des Planungshorizonts T bezüglich der Teilperiode $t = 3$, so daß

$$\text{AH}_{j6} = \text{AH}_{j3} + d \text{ AH}_{j6} = \text{AH}_{j0} + d \text{ AH}_{j3} + d \text{ AH}_{j6}.$$

dabei gilt nun für alle $\{t / t > 3 \wedge t \in \{1, 2 \dots 6\}\}$:

$$\underline{\underline{\text{AH}_{jt} = \text{AH}_{j3} + \frac{t-3}{3} d \text{ AH}_{j6} = \text{AH}_{j0} + d \text{ AH}_{j3} + \frac{t-3}{3} d \text{ AH}_{j6} .}}}$$

Die dieserart klassifizierten AH_{jt} resultieren somit aus der Linearkombination des zu $t = 3$ angestrebten Autarkiegrades AH_{j3} mit dem korrespondierenden, zu $T = 6$ anvisierten Wert AH_{j6} .

Zusammenfassend kann daher festgeahlt werden:

$$\text{AH}_{jt} = \begin{cases} \text{AH}_{j0} + \frac{t}{3} d \text{ AH}_{j3} & , \forall t \leq 3 \\ \text{AH}_{j0} + d \text{ AH}_{j3} + \frac{t-3}{3} d \text{ AH}_{j6} & , \forall 3 < t \leq 6 \end{cases} \quad t \in \{1, 2 \dots 6\}$$

Auf die Entwicklung eines geschlossenen analytischen Ansatzes für AH_{jt} ($\forall (j, t)$) sei hier verzichtet, da zu diesem Zwecke eine Ausschlußvariable für die Zeit t eingeführt werden müßte. Zudem bedarf es keiner solchen Formulierung, um die von uns erwünschten, strukturellen Modifikationen am strategischen Modellsystem herbeizuführen.

Somit sind wir in der Lage, die planerischen Freiheitsgrade des dynamisierten Entscheidungsraumes, E_T in durchaus ange-

messener Weise auf lediglich

$$AH_{jt} \xrightarrow{2 \cdot J} dAH_{j6}, dAH_{j3} \xrightarrow{T \cdot K \cdot M} INV_{kt}^m = 2 \cdot 20 + 6 \cdot 10 \cdot 7 = 40 + 420 = \underline{\underline{460}}$$

Entscheidungsvariablen abzubilden.

Gleichzeitig erfährt auch das Restriktionssystem (4) eine drastische, quantitative Verringerung, da trivialerweise nur mehr die Freiheitsgrade dAH_{j3} , dAH_{j6} , ($\neq j$) einer a-priori-Limitierung unterzogen werden können. Alle weiteren Autarkiegrade (bzw. die entsprechenden temporären Zuwächse) erfahren vergleichbare Einschränkungen in indirekter Weise über die zugehörigen linearen Bestimmungsgleichungen. Ein völliger Verzicht auf diese Limitierungsrelationen erscheint zwar in Anbetracht der Tatsache, daß die Variablen dAH_{j6} natürlichen (logischen) Restriktionen unterliegen ($-AH_{j0} \leq dAH_{j3} \leq 1 - AH_{j0} \wedge -AH_{j0} - dAH_{j3} \leq dAH_{j6}$

$\leq 1 - AH_{j0} - dAH_{j3}$), durchaus möglich, aber nicht sinnvoll. Wir wollen dem Entscheidungsträger weiterhin die Möglichkeit geben, eine ihm genehme Teilmenge aus der Menge aller denkbaren Belegungen für die Autarkiegrade bzw. deren temporäre Zuwächse a-priori auszuwählen. Es gelte

$$(4.1.1.) \quad dAH_{jt} \geq dAHU_{jt}, \quad \text{mit } t = 3, \text{ sowie } dAHU_{jt} \geq -AH_{j0}$$

$$(4.1.2.) \quad -dAH_{jt} \geq -dAHO_{jt}, \quad \text{mit } t = 3, \text{ sowie } 1 - AH_{j0} \geq dAHO_{jt}$$

und

$$(4.1.3.) \quad dAHU_{jt} < dAHO_{jt}, \quad \text{so daß}$$

$$\underline{\underline{1 - AH_{j0} \geq dAHO_{jt} > dAHU_{jt} \geq -AH_{j0}}}$$

(4.2.1.) $dAH_{jt} \geq dAHU_{jt}$, mit $t = 6$, sowie $dAHU_{jt} \geq -AH_{jo} - dAH_{j3}$

(4.2.2.) $-dAH_{jt} \geq -dAHO_{jt}$, mit $t = 6$, sowie $1 - AH_{jo} - dAH_{j3} \geq dAHO_{jt}$

(4.2.3.) und $dAHU_{jt} < dAHO_{jt}$, so daß

$$\underline{1 - AH_{jo} - dAH_{j3} \geq dAHO_{jt} > dAHU_{jt} \geq -AH_{jo} - dAH_{j3}}$$

Der letzten Beziehung ist jedoch zu entnehmen, daß

$$dAHU_{j6} \geq -AH_{jo} - dAH_{j3} \iff dAHU_{j6} + AH_{jo} \geq dAH_{j3}$$

$$\text{sowie } 1 - AH_{jo} - dAH_{j3} \geq dAHO_{j6} \iff 1 - AH_{jo} - dAHO_{j6} \geq dAH_{j3}$$

gelten muß. Diese Zusatzrestriktionen sind erst dann automatisch erfüllt, wenn die "schärferen" Bedingungen

$$dAHU_{j6} + AH_{jo} \geq dAHU_{j3} \quad \text{und zugleich}$$

$$1 - AH_{jo} - dAHO_{j6} \geq dAHU_{j3} \quad \text{Platz greifen}$$

(gemäß 4.1.1. darf dAH_{j3} hier durch $dAHU_{j3}$ substituiert werden). Mithin muß die Relation

$$(4.2.3') \quad \min [(AH_{jo} + dAHU_{j6}); (1 - AH_{jo} - dAHO_{j6})] \geq dAHU_{j3},$$

mit $dAHU_{j6} < dAHO_{j6}$ eine wahre Aussage ergeben.

Das Restriktionssystem bestehend aus den $4 \cdot J = 4 \cdot 20 = 80$ Ungleichungen (4.1.1.), 4.1.2.), 4.2.1.) sowie (4.2.2.) ist dann und nur dann in $\mathbb{R}$ lösbar, wenn die Wahlparameter $dAHU_{j3}$, $dAHO_{j3}$, $dAHU_{j6}$ und $dAHO_{j6}$ von den jeweiligen Entscheidungsträgern gemäß den Plausibilitätsbeziehungen (4.1.3.) sowie (4.2.3') fixiert werden. Letzteren kann jedoch in aller Regel schon dann Genüge getan werden, wenn die zulässigen Bereiche für die dAH_{j3} und dAH_{j6} elementfremd (disjunkt) festgelegt werden können ($dAHO_{j3} < dAHU_{j6}$).

Obwohl wir vermöge der Einführung des modifizierten Restriktionssystems (4) insgesamt

$$240 - 80 = \underline{\underline{160}}$$

Nebenbedingungen einsparen können, erscheint uns die verbleibende Anzahl von

$$1086 - 160 = \underline{\underline{920}}$$

handlungsbeschränkenden Relationen immer noch zu hoch für eine möglichst komfortable Modellauswertung mittels geeigneter Verfahren der nichtlinearen Programmierung. In diesem Zusammenhange gilt es nun Überlegungen anzustellen, die einen Verzicht auf die Endogenisierung des Restriktionsschemas (2) (nichtnegative Investitionsaufwendungen) erlauben.

Aus der Erklärungshypothese unseres strategischen Entscheidungsmodells kann unmittelbar abgeleitet werden, daß die Infrastrukturkonzeptionen AH_{jt} ($\star(j,t)$) sowie INV_{kt}^m ($\star(t,k,m)$) jeweils ausschließlich mit positiven Vorzeichen zur Festlegung des optimalen Wertes unseres Entscheidungskriteriums $E = K$ beitragen. Mithin kann es zu keinen kompensatorischen Konstellationen zwischen diesen beiden Elementen der Entscheidungsstruktur kommen, wenn überdies berücksichtigt wird, daß

- AH_{jt} vermöge des Restriktionssystems (4) auf positive Werte beschränkt ist ($AH_{jt} \in [0;1]$, $\star(j,t)$) sowie
- AH_{jt} und INV_{kt}^m ($\star(j,t)$ und $\star(t,k,m)$) in einem streng gleichläufigen Zusammenhange stehen. Das Nebenbedingungsschema (1) erzwingt, daß den stets positiven Anlagenbedarfen AB_{kt}^m ebensolche, u.U. sogar betragsmäßig höhere Anlagenverfügbarkeiten $\sum_{t=t-m+1}^t INV_{kt}^m$ ($\star(t,k,m)$) gegenübergestellt werden. Selbstverständlich will dies nicht heißen, daß es hierbei niemals zu "vereinzelten", negativen INV_{kt}^m kommen könnte.

Trotzdem halten wir solche Fälle aus besagten Gründen für nur wenig wahrscheinlich. Da uns diese Annahme im Zuge entsprechender empirischer Analysen im Rahmen der Modell-Eichung (siehe hierzu insbesondere Kap.2.3.4.) ausnahmslos bestätigt wurde, wollen wir nachfolgend auf die explizite Berücksichtigung von Nichtnegativitätsrestriktionen für die Infrastrukturelemente INV_{kt}^m ($\forall (t,k,m)$) (Restriktionssystem (2)) verzichten.

Sollte trotzdem anlässlich der Lösung beliebiger Probleme der Unternehmenspraxis der Fall eintreten, daß in den modellmäßig ermittelten Ergebnisstrukturen mit negativen Werten belegte INV_{kt}^m ((t,k,m) beliebig) aufscheinen, so empfehlen wir die folgende Vorgehensweise:

Man identifiziere die negativen Wertzuweisungen, belege sie mit der Ziffer "0" und verwende das dieserart modifizierte Optimaltableau zur Erzeugung einer günstigen Startlösung für einen erneuten Optimierungslauf unter ansonsten unveränderten Bedingungen. Die Prozedur wiederhole sich solange, bis eine Struktur von Ergebnismerkmalen entsteht, die ausschließlich positive Elemente enthält. Gemäß unserer Erfahrungen mit einem eigens zu diesbezüglichen Erprobungszwecken konstruierten Testbeispiel sind zur Erreichung dieses Zieles in aller Regel nicht mehr als drei Iterationsschritte erforderlich. -

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß das von uns ins Auge gefaßte Ziel einer erheblichen, aber sinnvollen Reduktion der im Entscheidungsmodell zu bewältigenden Problemumfänge als in befriedigendem Maße erreicht betrachtet werden kann. Der Entscheidungsraum $\mathbb{E}_T$ kann nunmehr auf lediglich 460 echte Entscheidungsvariablen abgebildet werden; die Anzahl modellendogen zu berücksichtigender Restriktio-

nen verringert sich auf insgesamt

$$\begin{array}{ccccccc}
 \underbrace{T \cdot K \cdot M} & + & \underbrace{T} & + & \underbrace{4 \cdot J} & = & \\
 \text{Kapazitätsdimensionierung} & & \text{Budgetierung} & & \text{a-priori-Limitierung der} & & \\
 \text{(System (1))} & & \text{(jetzt System (2))} & & \text{Autarkiegrade} & & \\
 & & & & \text{(jetzt System (3))} & & \\
 \\
 = & 6 \cdot 10 \cdot 7 & + & 6 & + & 4 \cdot 20 = 420 + 6 + 80 = \underline{\underline{506}}
 \end{array}$$

handlungsbeschränkende Relationen. Damit eröffnen sich sehr gut Chancen für eine effiziente und komfortable Auswertung unseres strategischen Modellsystems über ein adäquates Verfahren der nichtlinearen Optimierung.

Abschließend sei nun die erweiterte Version des strategischen Entscheidungskalküls im Gesamtzusammenhang dargestellt. Hierbei sind sowohl die im ersten Teil dieses Kapitels erörterten Differenzierungen der betrieblichen Umwelt als auch die in diesem Abschnitte erläuterten formalen Reduktionen der Problemdimension berücksichtigt worden.

$$\begin{aligned}
 \text{Min}_{AH_{jt}, INV_{kt}^m} \quad K = & \sum_{t=1}^3 \left[\sum_{j=1}^J tf_{jt} \left\{ \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K p_{it}^{jk} \cdot w_{it}^{jk} \cdot s_{it} \right. \right. \\
 & \left. \left[-b_{jt} (AH_{jo} + \frac{t}{3} d AH_{j3})^2 + (1-a_{jt} + b_{jt}) (AH_{jo} + \frac{t}{3} d AH_{j3}) + \right. \right. \\
 & \left. \left. + a_{jt} \right] \right\} + \sum_{t=4}^6 \left[\sum_{j=1}^J tf_{jt} \left\{ \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K p_{it}^{jk} \cdot \right. \right. \\
 & \left. \left. w_{it}^{jk} \cdot s_{it} \left[-b_{jt} (AH_{jo} + d AH_{j3} + \frac{t-3}{3} d AH_{j6})^2 + \right. \right. \right. \\
 & \left. \left. \left. + (1-a_{jt} + b_{jt}) (AH_{jo} + d AH_{j3} + \frac{t-3}{3} d AH_{j6}) + a_{jt} \right] \right\} \right] +
 \end{aligned}$$

$$+ \sum_{t=1}^T \left[\sum_{k=1}^K \left\{ (1 + c_{kt}^a + \sum_{i=1}^I c_{kt}^i) \cdot \left[\sum_{m=1}^{M-1} \frac{1}{m} \sum_{\hat{t}=t-m+1}^t APT_{k\hat{t}}^m \cdot \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. INV_{k\hat{t}}^m + \frac{1}{12} \sum_{\hat{t}=t-m+1}^t APT_{k\hat{t}}^m \cdot INV_{k\hat{t}}^m \right] \right\} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I pg_{kt}^{ij} \right]$$

s.a. (1) Kapazitätsdimensionierung

$$(1.1.) \sum_{\hat{t}=t-m+1}^t APT_{k\hat{t}}^m \cdot INV_{k\hat{t}}^m - (\alpha_k^m + \beta_{kt}^m \cdot AI_{kt}^m) \cdot \\ \cdot \left[\sum_{j=1}^J tf_{jt} \cdot (AH_{jo} + \frac{t}{3} d AH_{j3}) \cdot \sum_{i=1}^I p_{it}^{jk} \cdot w_{it}^{jk} \cdot s_{it} \right] \geq 0,$$

$$\forall t = 1, \dots, 3, \forall (k, m)$$

$$(1.2.) \sum_{\hat{t}=t-m+1}^t APT_{k\hat{t}}^m \cdot INV_{k\hat{t}}^m - (\alpha_{kt}^m + \beta_{kt}^m \cdot AI_{kt}^m) \cdot \\ \cdot \left[\sum_{j=1}^J tf_{jt} \cdot (AH_{jo} + d AH_{j3} + \frac{t-3}{3} d AH_{j6}) \cdot \right. \\ \cdot \left. \sum_{i=1}^I p_{it}^{jk} \cdot w_{it}^{jk} \cdot s_{it} \right] \geq 0, \forall t = 4, \dots, 6, \forall (k, m).$$

(2) Budgetierung

$$- \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M APT_{kt}^m \cdot INV_{kt}^m + INVB_t \geq 0, \forall t$$

(3) A-priori-Limitation der Autarkiegrade

$$(3.1.1.) dAH_{j3} \geq dAHU_{j3}$$

$$(3.1.2.) - dAH_{j3} \geq - dAHO_{j3} \quad \text{sowie}$$

$$(3.1.3.) 1 - AH_{jo} \geq dAHO_{j3} > dAHU_{j3} \geq - AH_{jo}, \quad \forall j$$

$$(3.2.1.) dAH_{j6} \geq dAHU_{j6}$$

$$(3.2.2.) - dAH_{j6} \geq - dAHO_{j6} \quad \text{sowie}$$

$$(3.2.3.) \underset{\text{mit}}{\text{Min}} \left[(AH_{jo} + dAHU_{j6}); (1 - AH_{jo} - dAHO_{j6}) \right] \geq dAHU_{j3},$$

$$dAHO_{j6} > dAHU_{j6}, \quad \forall j$$

mit $i = 1, \dots, I (I=4)$; $j = 1, \dots, J (J=20)$; $k = 1, \dots, K (K=10)$;
 $m = 1, \dots, M (M=7)$ sowie $t = 1, \dots, T (T=6)$.

2.3.4. Erläuterungen zu Maßnahmen der Validierung des strategischen Entscheidungsmodells

Im Rahmen der nachfolgenden Erörterungen gilt es nun, die oben dargelegten Relationen unseres Modellsystems auf ihre uneingeschränkte Gültigkeit hin zu untersuchen, um anschließend ein diesbezügliches Gesamturteil abzugeben. Hierbei kann uns etwa der folgende Fragenkatalog hilfreiche Dienste leisten:

- Sind die Strukturen des Entscheidungsmodells geeignet, das zugrundeliegende reale System der Wirklichkeit entsprechend abzubilden?
- Wurden alle potentiellen Handlungsalternativen identifiziert?
- Können die modellendogen berücksichtigten Umweltparameter als entscheidungsrelevant gelten?
- Existieren noch weitere systembeeinflussende Umweltfaktoren, die bei der Formulierung der Modellrelationen übersehen wurden?
- Wurden alle Randbedingungen des Entscheidungsspielraums identifiziert?

- Kann die formelle und materielle Richtigkeit der Erklärungs-hypothese vorbehaltlos bestätigt werden?
- Ist die Zielfunktion etwa zu detailliert gehalten und aus diesem Grunde außerordentlich datenintensiv?
- Ist die Auswertung des Modellsystems mittels Verfahren der nichtlinearen Programmierung etwa in hohem Maße rechenintensiv, so daß schwerwiegende Akzeptanzprobleme zu erwarten sind?

Selbstverständlich ist jede dieser Fragestellungen in der einen oder anderen Form bereits im Rahmen der Präsentation des Entscheidungsmodells selbst angeklungen. Dies kann einerseits begründet werden durch die Tatsache, daß Maßnahmen der Modell-Eichung bereits im Zuge der Entwicklung der Modellstrukturen getroffen werden müssen, um Erkenntnisse bezüglich der Validität partialer Systemzusammenhänge zu antizipieren. So können Irrwege rechtzeitig erkannt und korrigiert sowie falsche Schlußfolgerungen bereits im Keime erstickt werden. Andererseits erscheint eine rein theoretische Darlegung der Modellrelationen ohne jegliche materielle Kommentierungen (unter Einschluß einzelner Validitätskontrollen) in Anbetracht der soeben genannten Gründe nicht wünschenswert. Trotzdem sollen in diesem Abschnitt einzelne Aspekte der von uns initiierten Maßnahmen zur Modell-Eichung aufgegriffen werden, wobei jedoch bloße Wiederholungen bereits hinreichend geklärter Fragestellungen zu vermeiden sind.

Bezüglich der vollständigen Erfassung aller Handlungsalternativen kann man ein durchweg positives Fazit ziehen. Dies offenbart sich bereits in der Tatsache, daß im Rahmen der zweiten Ausbaustufe unseres Modellsystems sogar (in Abstimmung mit den betroffenen Entscheidungsträgern) eine Reduk-

tion der Anzahl gestaltbarer Entscheidungsvariablen vorgenommen werden konnte, ohne hierbei die Vielfalt realiter verfügbarer planerischer Freiheitsgrade substantiell zu dezimieren.

Was die Endogenisierung aller entscheidungsrelevanten Umweltparameter anbetrifft, kann nach dem jetzigen Stand der Dinge noch nicht in ausreichender Weise geklärt werden. Wir sind zwar der Meinung, daß wir diesbezüglich mit der erforderlichen Sorgfalt zu Werke gegangen sind, können aber nicht bejahen, daß es keine systembeeinflussenden Elemente des betrieblichen Umfeldes mehr gibt, die wir nicht schon in unserer Modellstruktur berücksichtigt hätten. Unserer Erfahrung nach kann diese Fragestellung erst im Laufe der Zeit nach mehrmaliger Anwendung des Entscheidungsmodells zur Lösung praktischer Problemstellungen mit hinreichender Sicherheit beantwortet werden. In diesem Zusammenhange sei auch darauf verwiesen, daß bereits im Zuge der gedanklichen Entwicklung von Entscheidungsmodellen immer neue Aspekte auftauchen, an die man eingangs nicht im entferntesten gedacht hätte. Hält man dann Rücksprache mit den künftigen Systembenutzern, so kristallisieren sich in aller Regel weitere Beziehungen des Unternehmens zu seiner Umwelt heraus, deren Gestaltbarkeit oder auch bloße Entscheidungsrelevanz zuerst nicht bedacht wurde. Nicht von ungefähr haben wir im Rahmen dieser Studie zwei aufeinander aufbauende Modellversionen präsentiert. Wir sind der Meinung, daß Aussagen dieser Art in einer praktischen wissenschaftlichen Arbeit ein gebührender Platz eingeräumt werden muß.

Bezüglich der Frage nach der faktischen Entscheidungsrelevanz der im Modellsystem letztlich endogenisierten Umweltfaktoren sei auf die entsprechenden Bemerkungen verwiesen,

die anlässlich der inhaltlichen Beschreibung der jeweiligen Parameter gemacht wurden. Wir halten die diesbezüglichen Ausführungen für erschöpfend.

Was die Gültigkeit unserer Erklärungshypothese bezüglich des Realsystems angeht, befinden wir uns eindeutig auf einer sicheren Seite. Die Strukturelemente der Zielfunktion sind kausale Hypothesen bezüglich des Zusammenwirkens strategischer Variabler (AH_{jt} , INV_{kt}^m) einerseits sowie der kostenmäßigen Konsequenzen dieser Interaktionen andererseits. Diese Partialhypothesen haben im Rahmen umfangreicher retrospektiver Tests Aussagen von hoher Signifikanz geliefert und damit Zeugnis von ihrer Validität abgelegt. Die Erklärungshypothese selbst ist eine rein definitorisch erzeugte Aggregation besagter Teilhypothesen und somit mehr oder weniger tautologischer Natur. Sie kann sich somit dem Zwang einer Validierung weitgehend entziehen.

Wir wollen nun im Rahmen eines Gesamturteils abschließend zur Frage der Validität unseres Modellsystems Stellung nehmen:

1. Unser Entscheidungsmodell ist zweifellos geeignet, ein getreues Abbild der realiter herrschenden Verhältnisse zu vermitteln. Es hat bis zum jetzigen Zeitpunkt allen Bestrebungen widerstanden, die auf eine Falsifizierung seiner Aussagen gerichtet waren. Dies gibt uns Anlaß zu der Feststellung, daß sich unser Modellsystem kraft eigener Attribute validiert hat.
2. Das Modell befähigt uns in der Tat, das eingangs formulierte Grundziel einer Fertigungsprogramm- und Investitionsplanung auf der Basis hochaggregierter betrieblicher Merkmale zu realisieren. Diese Befähigung erwächst aus der Struktur des Modellsystems, die auf hochsignifi-

fikanten Kausalbeziehungen fußt: Alle entscheidungsrelevanten Tatbestände bleiben kraft der Symbolisierung durch Variablen offen; alle unbeeinflussbaren und doch ziel- und/oder handlungsbestimmenden Größen sind als zwangsweiser Modellinput vorgesehen. Wenn es gelingt, das vom Modell erzeugte nichtlineare Programm in mathematischer wie EDV-technischer Weise effektiv zu lösen, können praktisch umsetzbare Empfehlungen zum optimalen strategischen Entscheidungsverhalten formuliert werden. Eine extensive Analyse dieser Fragestellung sei jedoch dem nachfolgenden Kapitel sowie insbesondere dem dritten Hauptkapitel dieser Studie vorbehalten.

2.3.5. Möglichkeiten und Maßnahmen zur mathematischen Auswertung des vorliegenden Modellkonzepts nichtlinearer Relationen

Zunächst wollen wir wieder einen kurzen Aufriß der in diesem Abschnitte abzudeckenden Themenstellungen geben. Während wir uns anfangs mit programmatischen Empfehlungen zur Auswahl adäquater algorithmischer Problemlösungsmechanismen im allgemeinen befassen werden, sollen nachfolgend spezifische Aspekte des Für und Wider der Durchführung einer Linearisierung der nichtlinearen Modellstrukturen unseres Entscheidungskalküls zur Erörterung anstehen. In diesem Zusammenhange soll selbstverständlich auch der Frage nachgegangen werden, inwieweit lineare Programmiertechniken ihren nichtlinearen Pendanten eigentlich überlegen sind.

In einem dritten Teilabschnitt seien spezielle Charakteristika nichtlinearer Suchprogramme angesprochen, wobei insbeson-

dere Aspekte deren EDV-technischer Umsetzbarkeit und Effizienz im Mittelpunkt der Betrachtungen stehen sollen.

Zu guter Letzt ist eine kritische Würdigung unseres nunmehr umfassend dargelegten Modellansatzes zur strategischen Akquisitions- und Investitionsplanung angesagt. Dieses Abschlußzeugnis sei jedoch nicht nur auf Basis theoretisch-analytischer, sondern auch unter Beilegung praktisch-operationaler Kriterien der Beurteilung erstellt.

2.3.5.1. Leitsätze zur Auswahl geeigneter mathematischer Problemlösungstechniken

Bevor mit der Formulierung solcher formaler Kriterien, welche die Suche nach effizienten algorithmischen Lösungsverfahren unterstützend begleiten sollen, begonnen werden kann, muß eingangs die Frage gestellt werden, mit welchen maximalen Problemumfängen zu rechnen ist. Hierbei wollen wir einmal davon ausgehen, daß auch die Grundkonzeption unseres strategischen Entscheidungsmodells, welche noch über den unlimitierten, auf 540 strategische Variablen abgebildeten Entscheidungsraum sowie das uneingeschränkte, von Zusatzannahmen freie Restriktionssystem von 1080 Nebenbedingungen verfügt, einer algorithmischen Auswertung zugänglich gemacht werden soll. Dies kann begründet werden mit unserer Absicht, den Entscheidungsträgern beide Modellversionen, sowohl das Basiskonzept, als auch die erweiterte Fassung (mit reduzierten Problemumfängen), zur Option zu stellen. Demzufolge ist festzuhalten, daß wir in der Lage sein müssen, ein nicht-lineares Problem der Größenordnung (540 x 1080) auf mathematischem Wege zu lösen.

Probleme dieser Dimension zählt man gemäß den üblichen Kon-

ventionen bereits zu den Large-Scale-Programming-Problems. Diese Tatsache zwingt uns, nach einem Algorithmus zu suchen, der offensichtlich zur Bewältigung solcher Aufgabenstellungen geeignet ist. Mathematische Lösungsverfahren werden üblicherweise mit Angabe der "computational results" veröffentlicht, die bisher mit diversen EDV-Programmen (unter Verwendung verschiedener Programmiersprachen und Hardware-Konfigurationen) auf Basis dieser Mechanismen erzielt wurden. Wenn man es versteht, diese meist sehr optimistisch gehaltenen Angaben richtig zu interpretieren, so lassen sich daraus erste Anhaltspunkte zur Beurteilung der Effektivität einer solchen algorithmischen Problemlösungstechnik gewinnen. Da es jedoch oft unterlassen wird, die jeweiligen Rechenzeiten unter Angabe der Größenordnung der zugrundeliegenden Problemstellung, der verwendeten Programmiersprache sowie der realiter benutzten Hardware-Einrichtungen zu nennen, ist es fallweise schlichtweg unmöglich, fundierte Effizienzvergleiche anzustellen, zumindest was die Abschätzung der Schnelligkeit der zur Debatte stehenden Algorithmen anbetrifft.

In diesem Zusammenhange sei darauf hingewiesen, daß die vollständige Neukonzeption eines Verfahrens der nichtlinearen Programmierung eigens zum Zwecke der EDV-gerechten Auswertung unseres strategischen Modellsystems faktisch nicht zu realisieren ist. Hierfür sind in erster Linie zeitliche Gründe maßgebend. Einen wirklich leistungsfähigen Algorithmus zu entwickeln und darüber hinaus erschöpfend auszutesten, erfordert in aller Regel eine Zeitspanne von etwa drei Mannjahren. Angesichts der Dringlichkeit eines alsbaldigen Einsatzes unseres Modellsystems in der strategischen Planungspraxis des Unternehmens mußten wir uns demzufolge in der einschlägigen mathematischen Fachliteratur nach geeigneten Auswertungsverfahren umsehen.

Hierbei haben wir uns von Anfang an am Leitprinzip des "geringsten Widerstands" orientiert. Dies will heißen, daß wir uns bei der Suche nach effizienten Algorithmen auf solche konzentriert haben, die bereits in programmierter Form vorliegen. Letzterer Tatbestand kann jedoch nur ein Aspekt einer ganzen Reihe wünschenswerter Charakteristika sein, die ein solcher Algorithmus gemäß unseren Vorstellungen im Idealfall aufweisen sollte. Diese Attribute seien der nachfolgenden Aufstellung zu entnehmen:

- a) Das Problemlösungsverfahren sollte in einem jedermann zugänglichen EDV-Programm niedergelegt sein. Als bevorzugte Programmiersprachen wären in diesem Zusammenhange Fortran (VS 5), APL sowie PL1 zu nennen.
- b) Das EDV-Programm sollte in jedem Falle dokumentiert sein. Zu diesem Zwecke müßten die einzelnen Programmschritte in Aufbau und Logik verbal erläutert sowie mittels eines Programmablaufplanes visuell illustriert werden. Dies gelänge am besten anhand eines kleinen, manuell nachvollziehbaren Testbeispiels.
- c) Der Algorithmus sollte für großvolumige Problemumfänge der obengenannten Größenordnung nachweislich geeignet sein. In mindestens einer problemorientierten Programmiersprache wären akzeptable Rechenzeiten zu fordern, die maximal im Bereiche von etwa 3000 CPU-Sekunden liegen. Des weiteren sollte der zur Problemlösung beanspruchte Kernspeicherplatz möglichst gering sein, in jedem Falle jedoch den Schwellenwert von 4 Megabyte nicht überschreiten.
- d) Auch wenn ein Algorithmus noch nicht in programmierter Form vorliegt, so sollte er doch in Aufbau und Logik so unzweideutig beschrieben sein, daß er einer Programmierung sehr einfach zugänglich ist.

Auf der Basis dieses Schemas sei nun unsere Entscheidungsregel definiert:

Von sämtlichen verfügbaren Algorithmen kommen diejenigen in eine engere Wahl, welche mindestens eines der vier genannten Charakteristika aufweisen.

Dieses Auswahlverfahren basiert auf etwa nachfolgender Überlegung:

Wenn eine dieser Forderungen erfüllt ist, existiert eine hinreichend große Wahrscheinlichkeit, den jeweiligen Algorithmus mit relativ geringem Aufwand bezüglich der drei anderen Kriterien "ausbauen" zu können.

Trotzdem ist darauf hinzuweisen, daß die hier aufgeführten Auswahlkriterien nicht alle den gleichen Stellenwert besitzen. Aus diesem Grunde sind (insgesamt 5) verschiedene Prioritätsklassen zu formulieren:

- Klasse 1 ... Algorithmen, welche die ersten drei Merkmale erfüllen.
- Klasse 2 ... Algorithmen, die den Kriterien a) und c) genügen.
- Klasse 3 ... beinhalte solche Lösungsverfahren, welche den Forderungen der Punkte c) und d) gerecht werden.
- Klasse 4 ... Hierunter seien Algorithmen subsumiert, welche ausschließlich Punkt a) oder auch Punkt c) erfüllen.
- Klasse 5 ... bestehe aus solchen Algorithmen, welche den übrigen, nicht aufgeführten Merkmalskombinationen genügen oder auch keinem der genannten Kriterien entsprechen.

Soviel zu den Prioritätsregeln. Abschließend sei noch ein-

mal darauf verwiesen, daß wir bis jetzt ausschließlich formale Aspekte erörtert haben, denen ein Problemlösungsmechanismus genügen sollte, um in die Auswahl derjenigen Algorithmen zu gelangen, die einer extensiven Analyse ihrer logischen Eigenschaften unterzogen werden. Im Rahmen einer solchen Überprüfung materieller Charakteristika sind nachfolgende Aufgaben wahrzunehmen:

- "Abchecken" der logischen Struktur,
- Manuelles "Durchrechnen" des Algorithmus mit (sehr) kleinen Testbeispielen sowie ggf.
- Beseitigen formaler und logischer Fehler.

Hält der jeweilige Algorithmus einer solchen Konsistenzprüfung stand, kann zur EDV-gerechten Aufbereitung und Umsetzung des zur Debatte stehenden Verfahrens übergegangen werden. -

Soviel nun der Erläuterungen zu den Leitsätzen der Auswahl adäquater mathematischer Problemlösungstechniken. Die diesbezüglichen Ausführungen haben einen wichtigen Grundstein zur logischen Weiterentwicklung der behandelten Thematik im dritten Kapitel dieser Studie gelegt.

2.3.5.2. Chancen und Risiken einer Linearisierung der Modellstruktur zum Zwecke der Anwendung herkömmlicher Linear-Programming-Techniques

Wie bereits ausführlich erläutert, benötigen wir zur Auswertung unseres hier präsentierten Modells zur strategischen Akquisitions- und Investitionsplanung ein geeignetes, möglichst leistungsfähiges Verfahren der nichtlinearen Optimierung. Wir wissen, daß immerhin maximal 540 originäre Ent-

scheidungsvariablen unter Beachtung 1086 handlungsrelevanter Relationen zur Belegung anstehen, wenn von der Basisversion unseres Entscheidungskalküls Gebrauch gemacht wird. Dies ist im wahrsten Sinne des Wortes kein Pappenstein, wenn man an die im Durchschnitt eher mäßige Effizienz der gängigen nichtlinearen Optimierungsmethoden denkt. Deshalb ist die Suche nach (erwiesenermaßen) leistungsfähigen Verfahren des genannten Typs zu forcieren.

Andererseits haben wir uns, in Kenntnis der bei Anwendung nichtlinearer Lösungstechniken zur Auswertung großvolumiger Aufgabenstellungen auftretenden Probleme, der Mühe unterzogen, das vorliegende Modellkonzept in eine vollständig linearisierte Form zu transferieren. Diese Aufgabe konnte nur deswegen relativ zufriedenstellend gelöst werden, weil sich die Nichtlinearität unseres Entscheidungsproblems ausschließlich auf die Erklärungshypothese erstreckt, während sämtliche Restriktionen von nichtlinearer Struktur sind. Darüber hinaus erfüllt die Zielfunktion den Tatbestand der Trennbarkeit, d.h. sie kann als Summe von Teilrelationen interpretiert werden, die jeweils nur von einer einzigen Variablen abhängen. Diese Teilrelationen genügen überdies der Konvexitätsbedingung, so daß wir uns zum Zwecke der Überführung des vorliegenden nichtlinearen Minimierungsproblems in eine äquivalente lineare Aufgabenstellung des vereinfachten Verfahrens zur stückweisen Linearisierung bedienen können. Hierbei ist der zulässige Bereich der in der Zielfunktion nichtlinear angesetzten Variablen in s Teilintervalle zu zerlegen, wobei

- s gemäß der gewünschten Genauigkeitsansprüche frei wählbar ist sowie
- unterschiedlich große Teilintervalle festgelegt werden dürfen.

Selbstverständlich resultiert die Wahl kleinerer Intervalle in einer Steigerung der Approximationsgenauigkeit auf Kosten einer Erhöhung der Anzahl neu einzuführender Hilfsvariablen. Bekanntlicherweise ist für jedes dieser Intervalle eine solche Hilfsgröße dergestalt zu definieren, daß die Summation dieser Werte über die Gesamtheit der Intervalle die Belegung der ursprünglichen, in der Zielfunktion nichtlinear zum Zuge gekommene Entscheidungsvariablen liefert. Dabei ist jede Hilfsvariable stets nur in einem einzigen Teilintervall erklärt.

Die betrachtete partielle Funktion wird nunmehr approximativ durch Geradenstücke ersetzt, die jeweils zwischen den Funktionswerten der unteren und oberen Intervallstützstellen interpolieren. Die Zielfunktionskoeffizienten der Hilfsvariablen ergeben sich hierbei zum Differentialquotienten erster Ordnung der zugehörigen Geradenstücke. Damit kann die Linearisierung der Zielfunktion als durchgeführt betrachtet werden. Auf eine explizite Präsentation unseres Entscheidungskalküls in vollständig linearisierter Form soll jedoch im Rahmen dieser Studie verzichtet werden. Dies kann mit der nachfolgenden Argumentation stichhaltig begründet werden.

Das linear strukturierte Modellkonzept hat eine ganze Menge Ballast in Form von

- definitorischen Beziehungen zur Errechnung von Hilfs- und Zwischengrößen,
- weit über 800 Hilfsvariablen sowie
- eine entsprechende Anzahl von Hilfsrestriktionen zur Festlegung der zulässigen Definitionsbereiche dieser Zusatzvariablen

mit sich herumzuschleppen. Dies steigert natürlich einer-

seits die Ansprüche, die an Effizienz und Schnelligkeit eines zur Auswertung heranzuziehenden Verfahrens der linearen Programmierung zu stellen sind. Es sind also Zeit und Geld in die Suche nach dementsprechend intelligenten Verfahren zu investieren. Dies gilt umso mehr, als es de facto nur sehr wenige frei verfügbare, d.h. kostenlos nutzbare Methoden der linearen Optimierung gibt, welche

- imstande wären, eine in etwa zur Dimension (1340 Entscheidungsvariablen / 1880 Restriktionen) aufgeblähte Problemstellung in weniger als ca. 20 CPU-Minuten zu lösen sowie
- bereits in Gestalt eines fertigen Programmpaketes vorliegen.

Andererseits stellt eine solcherart umfangreiche Problemstruktur selbstverständlich erhöhte Ansprüche an die verfügbaren Kernspeicherkapazitäten, was die Kosten der Auswertung pro Modelllauf in zusätzlichem Maße negativ beeinflusst. Darüber hinaus entstehen weitere Kosten für die Vielzahl von Neben- und Zwischenberechnungen, welche die für linearisierte Modellstrukturen charakteristischen Hilfsgrößen bereitzustellen haben.

Aus diesen Überlegungen ist nunmehr der logische Schluß zu ziehen, daß eine weitere Berücksichtigung des linearen Ansatzes fehl am Platze ist. Wir präferieren die in analytischer Hinsicht weitaus elegantere nichtlineare Modellformulierung und nehmen hierbei das Risiko in Kauf, im Falle der Nichtexistenz eines wirklich leistungsfähigen Auswertungsverfahrens der nichtlinearen Optimierung mit nur annähernd optimalen, aber möglicherweise doch satisfizierenden Ergebnisstrukturen vorlieb nehmen zu müssen. Dieses Risiko ist jedoch nicht sehr hoch zu veranschlagen, wenn man bedenkt, daß die Zielfunktion unseres nichtlinear strukturierten

Entscheidungsmodells bestenfalls ein Polynom zweiten Grades ist. Die Verfahren der quadratischen Programmierung, die wir natürlich jederzeit für Auswertungszwecke bemühen können, gelten aber als ausgereift und zuverlässig. Wenn man darüber hinaus in Betracht zieht, daß wir bei ausschließlicher Verwendung der Entscheidungsstruktur unserer erweiterten Modellversion (auf die zusätzlich eingeführten oder dynamisierten Umweltparameter kann weiterhin optionell zugegriffen werden) eine Reduktion der Problemdimensionen auf (460 Entscheidungsvariablen / 506 Restriktionen) erzielen können, muß jegliche Kritik an unserer Entscheidung pro nichtlineare Auswertung als gegenstandslos bezeichnet werden.

2.3.5.3. Spezifische Eigenschaften sowie Voraussetzungen der Verwendung nichtlinearer Heuristikprogramme zur EDV-mathematischen Umsetzung des nichtlinear strukturierten Modellkonzepts

Es existiert bis zum heutigen Tag keine exakte mathematische Methodik, welche zur Optimierung beliebiger nichtlinearer Problemstellungen herangezogen werden könnte. Abstrahiert man von nur wenigen Spezialfällen, muß daher zur Auswertung nichtlinearer Aufgabenstellungen stets auf Heuristiken recurriert werden. Diese beschränken sich keinesfalls auf ein unsystematisches Probieren, sondern versuchen durch

- Ausnutzung besonderer Strukturmerkmale,
- Analogieschlüsse zu bereits gelösten Problemen wie auch
- spezielle Plausibilitätsüberlegungen

zu sinnvollen und halbwegs erfolgversprechenden Regeln der Problemlösung zu gelangen. Zu den heuristischen Methoden zählen auch die Gradientenverfahren, die nachfolgend im Mittelpunkt unseres Interesses stehen sollen.

Es sei daraufhingewiesen, daß auch in den Fällen, bei denen zur Lösung einer nichtlinearen Problemstellung auf exakte Optimierungsverfahren zurückgegriffen werden kann (quadratische Optimierung, hyperbolische Optimierung), in keinem Falle die Effizienz linearer Programmierverfahren in Bezug auf Schnelligkeit und zulässigem Problemumfang (Anzahl der zu belegenden Variablen sowie zu beachtenden Nebenbedingungen) zu realisieren ist. Dies liegt begründet in der erheblichen Komplizierung von Optimierungsproblemen beim Auftreten nichtlinearer Funktionen, die sich hauptsächlich im Katalog der nachfolgenden Charakteristika dokumentiert:

- Die Menge der zulässigen Lösungen einer nichtlinearen Optimierungsaufgabe muß nicht notwendigerweise einen konvexen Bereich des n -dimensionalen Raumes mit einer endlichen Zahl von Ecken bilden. Der Lösungsraum ist nur dann mit Sicherheit eine konvexe Punktmenge, wenn ausschließlich lineare Restriktionen vorliegen. In diesem Zusammenhange sei jedoch festgehalten, daß die handlungsbeschränkenden Relationen unseres strategischen Entscheidungsmodells sowohl in der Basis- als auch in der erweiterten Version keinerlei nichtlineare Elemente aufweisen, so daß uns die Problematik nichtkonvexer Lösungsbereiche de facto nicht tangieren wird.
- Sofern eine optimale Lösung eines nichtlinearen Problems existiert, so ist eine Beschränkung der Suche nach ebendiesem Optimum auf den Rand des zulässigen Bereiches nicht opportun. Die bestmögliche Lösung könnte u.U. ebensogut im Inneren des zulässigen Bereiches liegen. Des weiteren kann auch der Fall eintreten, daß das Optimum zwar am Rand, nicht jedoch (wie bei Problem der linearen Programmierung) an einem Eckpunkt des zulässigen Bereichs liegt.
- Neben einem globalen Optimum können mehrere, hiervon abweichende lokale Optima existieren, selbst wenn der zulässige Bereich eine konvexe Punktmenge bildet. Das hier-

bei auftretende Problem besteht im wesentlichen darin, daß es im allgemeinen keinen Indikator für die Unterscheidung lokaler und globaler Optima gibt.

- Die Existenz einer optimalen Lösung kann keinesfalls allein aus dem Tatbestand einer nichtleeren Lösungsmenge sowie der Beschränktheit der Zielfunktion auf dieser Lösungsmenge abgeleitet werden.

Wir gehen nun über zur Darlegung der grundlegenden Prinzipien der Gradientenverfahren, welche, wie bereits angeklungen ist, eine wichtige Gruppe von Heuristiken zur Lösung nichtlinearer Optimierungsprobleme repräsentieren. Gemäß der Definition des heuristischen Prinzips sind die Gradientenmethoden mithin zur Formulierung eines speziellen Codex zur Lösungsfindung geeignet, welcher hinsichtlich des angestrebten Zieles sowie unter Berücksichtigung bestimmter Merkmale der Problemstruktur als zweckmäßig und erfolgversprechend erscheint.

Wir definieren nun den Gradienten ∇f einer Funktion $f(\vec{x})$ zum Vektor der partiellen Ableitung erster Ordnung von $f(\vec{x})$. Es gelte:

$$\nabla f(\vec{x}) := \frac{\partial f}{\partial x_1} \quad \frac{\partial f}{\partial x_2} \quad \dots \quad \frac{\partial f}{\partial x_n} \quad .$$

Die Gradientenverfahren machen sich nun den Umstand zunutze, daß eine Bewegung von einem beliebigen Punkt x^0 in Richtung des Gradienten $\nabla f(x^0)$, welcher dem n-Tupel x^0 eindeutig zugeordnet werden kann, diejenige Bewegungsrichtung darstellt, die bezüglich des Zielfunktionswertes $f(\vec{x})$ eine maximale Steigerungsrate erzielt. Hieraus ist abzuleiten, daß immer in Richtung des Gradienten fortgeschritten wird, solange hierdurch keine Restriktionen verletzt werden. Man be-

zeichnet die Gradientenverfahren demzufolge auch als Methoden "des steilsten Anstiegs".

In einem Iterationsprozeß generiert man eine Folge zulässiger Lösungen, wobei der Zielfunktionswert bei jedem Iterationsschritt erhöht wird. Wenn s den Index der durchgeführten Iterationsschritte symbolisiert, muß also gelten:

$$f(\vec{x}_{s+1}) > f(\vec{x}_s).$$

Eine Startlösung kann hierbei jede beliebige, aber zulässige Lösung des nichtlinearen Optimierungsproblems sein. Für diesen Punkt sowie alle weiteren n -Tupel der nachfolgenden Iterationsschritte ist nunmehr zu untersuchen, ob er innerhalb oder aber auf dem Rand des Lösungsraumes zu liegen kommt.

- a) Befindet sich der betrachtete Punkt innerhalb des zulässigen Bereichs, so ist in Richtung des Gradienten an diesem Punkt fortzuschreiten. Der Folgepunkt $\vec{x}_{s+1}$ wird somit durch die Relation

$$\vec{x}_{s+1} := \vec{x}_s + \rho \cdot \nabla f(\vec{x}_s)$$

beschrieben. Der zulässige Bereich für die Stepsize ρ ($0 \leq \rho \leq \epsilon$) wird durch das Restriktionssystem der Problemstellung beschränkt:

Man setze $\vec{x}_{s+1} = \vec{x}_s + \rho \nabla f(\vec{x}_s)$ in die Nebenbedingungen ein und löse die jeweiligen Relationen nach ρ auf. Der auf diese Art und Weise erzeugte minimale Wert $\rho_{\min}$ repräsentiert dann den maximal zulässigen Wert ϵ , den ρ annehmen darf.

Über den dieserart bestimmten, zulässigen Wertebereich der Schrittweite ρ kann nun der Zielfunktionswert

$$f(\vec{x}_{s+1}) = f\left[\vec{x}_s + \rho \nabla f(\vec{x}_s)\right]$$

bezüglich ρ optimiert werden. Das so gefundene n -Tupel $(\vec{x}_{s+1})^{\text{opt}}$ bildet dann die Ausgangslösung des nächsten Iterationsschrittes.

- b) Wir wollen nun annehmen, daß der zur Debatte stehende Punkt auf dem Rand des zulässigen Lösungsraumes liegt. Wenn bei einer Bewegung in Richtung des zugehörigen Gradienten bestimmte Restriktionen verletzt werden, was ein Verlassen des Lösungsraumes impliziert, so ist eine andere Bewegungsrichtung $\vec{R}$ zu wählen, mit der eine zulässige Lösung bei höherem Zielfunktionswert erzielt werden kann.

Unter allen zulässigen Bewegungsrichtungen ist sinnvollerweise diejenige auszusuchen, welche den kleinsten Winkel mit dem Gradienten bildet, da solcherart ein größtmöglicher Zuwachs des Zielfunktionswertes realisiert werden kann. Besagte Bewegungsrichtung ist im Wege der quadratischen Optimierung zu ermitteln. Hierbei handelt es sich jedoch um ein relativ rechenintensives Verfahren. In Anbetracht der Tatsache, daß entsprechende Berechnungen bei jedem Iterationsschritt, der von einem am Rande des Lösungsbereiches situierten n -Tupel ausgeht, zu wiederholen sind, recurriert man des öfteren auf einfachere Methoden, die zwar keine optimalen, aber doch satisfizierende Bewegungsrichtungen bereitstellen können. In diesem Zusammenhange sei festgehalten, daß sich die einzelnen Gradientenverfahren im wesentlichen durch ebendiese Methode zur Bestimmung der Bewegungsrichtung $\vec{R}$ unterscheiden, falls Bewegung in Richtung des Gradienten zu unzulässigen Lösungen führen würden.

Nach Festlegung der Bewegungsrichtung $\vec{R}$ wird das nächste n-Tupel $\vec{x}_{s+1}$ zu

$$\vec{x}_{s+1} := \vec{x}_s + \rho \cdot \vec{R}$$

bestimmt. Anschließend ist analog zur Vorgehensweise unter a) zu procedieren.

Mithin sind bei jeder Iteration die nachfolgenden Schritte zu absolvieren:

- Berechnung des Gradienten der Startlösung und Überprüfung, ob ein Fortschreiten in dieser Richtung eine zulässige Lösung liefert.
- Wenn nein, ist eine zulässige, suboptimale Bewegungsrichtung $\vec{R}$ festzulegen.
- Ermittlung des zulässigen Wertebereichs $[0; \xi]$ für die Stepsize ρ .
- Optimierung des Zielfunktionswertes $f(\vec{x}_{s+1})$ bezüglich der Stepsize ρ , wobei $\rho \in [0; \xi]$.

Der Iterationsprozeß ist dann terminiert, wenn eine der nachfolgenden Bedingungen eine wahre Aussage liefert:

- a) Es kann keine zulässige Bewegungsrichtung mehr gefunden werden, welche eine weitere Erhöhung des Funktionswertes zeitigen würde.
- b) Die Stepsize ρ der optimalen Bewegungsrichtung besitzt keine endliche obere Schranke ($\xi \rightarrow \infty$). Bei dieser unbeschränkten Lösung können ρ wie auch $\vec{x}_{s+1}$ unendlich groß werden.

Hieraus wird offenbar, daß die Gradientenmethode keine Gewähr dafür bietet, daß ein globales Optimum in einer endlichen Zahl von Iterationsschritten erreicht wird. Selbst

wenn ein stationärer Punkt realisiert werden kann, ist damit nicht in hinreichender Weise sichergestellt, daß das globale Optimum ermittelt wurde. Es kann auch lediglich ein lokales Optimum oder ein Sattelpunkt vorliegen. Es ist daher unabdingbar, die jeweiligen stationären Punkte auf ihre Optimaleigenschaften hin zu untersuchen.

Welcher stationäre Punkt bei welchem Iterationsschritt erreicht wird, hängt im wesentlichen von der Beschaffenheit der Startlösung ab. Es stehen jedoch spezielle heuristische Instrumentarien (wie etwa penalty functions) zur Disposition, mit deren Hilfe die besagten stationären Werte "überwunden" werden können mit dem Ziele, die Suche nach besseren Werten und/oder dem globalen Optimum im Bereiche der zulässigen Lösungen (auch bei Absenz der Konvexitätseigenschaft) fortzusetzen. -

Soviel der Wort zur Arbeitsweise der Gradientenverfahren, aus deren Mitte eine Majorität der mathematischen Lösungsverfahren stammt, die zur Auswertung unseres strategischen Modellsystems potentiell herangezogen werden könnten. Diese Methoden bilden mithin den Sockel unseres Algorithmenvorrats, den die Suche nach adäquaten Lösungstechniken im Laufe der Zeit zutage gefördert hat.

2.3.5.4. Kritische Würdigung des dargestellten Modellansatzes

Läßt man die Ausführungen dieses zweiten Kapitels noch einmal Revue passieren, so gelangt man zu der Erkenntnis, daß das hier präsentierte Entscheidungsmodell zur strategischen Akquisitions- und Investitionsplanung ein umfassendes, in sich abgeschlossenes und konsistentes Denkschema zur Handhabung bzw. aktiven Gestaltung der hochaggregierten Beziehungen eines Unternehmens zu seinem Umfeld präsentiert.

Das Modell ist nach den Prinzipien des Baukastensystems organisiert. Dies will heißen, daß es über eine ganze Reihe separater Prozeßstufen verfügt, welche

- sich durch Art und Umfang sowie zeitabhängige Charakteristika der endogenisierten Umweltparameter unterscheiden und
- von den Entscheidungsträgern je nach Art der zu lösenden Problemstellung auf Bedarf abgerufen werden können. Diese Systembausteine können als in sich geschlossene, analytisch eigenständige Subsysteme betrachtet werden.

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit einer gestuften Reduktion der modellmäßig zu berücksichtigenden, strategischen Entscheidungsmerkmale im Wege der Ausnutzung zeitlicher Interdependenzen artverwandter Handlungsmöglichkeiten. Die faktische Inanspruchnahme solcher Dimensionsreduktionen, die keinesfalls mit entsprechenden Verlusten bezüglich der Aussagefähigkeit der Ergebnismerkmale einhergehen, richtet sich nach der Verfügbarkeit sowie dem Leistungsvermögen der zur Modellauswertung unerläßlichen ma-

thematischen Problemlösungstechniken. Dies versetzt uns in die Lage, jene mathematischen Rahmenbedingungen antizipativ zu berücksichtigen, was zum ausgewogenen Kompromiß zwischen einer analytisch anspruchsvollen Modellstruktur einerseits sowie der Güte der mathematischen Auswertung andererseits führt.

Wir sind somit am Ende des analytisch-strukturierenden Denkprozesses angelangt und verfügen über ein theoretisch fundiertes Modellsystem der strategischen Unternehmensplanung, welches seine Funktionsfähigkeit und Effizienz nun im Zuge der faktischen Lösung realiter auftretender Problemstellungen unter Beweis stellen muß. Es ist zu erwarten, daß uns der betriebliche Alltag vor mehrere harte Bewährungsproben stellen wird. Im Rahmen des vierten Kapitels der vorstehenden Analyse werden wir ausführlichst Zeugnis darüber ablegen, ob, und wenn ja, auf welche Art und Weise es uns gelungen ist, dem strategischen Modellkonzept zu durchschlagendem Erfolg zu verhelfen.

Zuvor wollen wir es jedoch nicht versäumen, einige detaillierte Hinweise zu geben bezüglich unserer Vorgehensweise bei der

- Auswahl und EDV-gerechten Umsetzung eines adäquaten Auswertungsverfahrens der nichtlinearen Optimierung sowie der
- Durchführung von umfangreichen Testläufen zur Beurteilung der Effizienz des vorliegenden strategischen Modellkonzepts.

In diesem Zusammenhange wollen wir selbstverständlich eine Reihe von Testergebnissen veröffentlichen sowie kommentieren, welche in den problemorientierten Programmiersprachen APL und Fortran (VS 5) erzielt werden konnten. Um diesbezüglichen Darlegungen einen ihnen gebührenden Stellenwert zukommen zu lassen, sei ihrer Präsentation ein eigenes Kapitel gewidmet. -

3. DAS STRATEGISCHE MODELLSYSTEM EINER EFFIZIENTEN FERTIGUNGS- UND INVESTITIONSPROGRAMMPLANUNG IM TESTSTADIUM: DIE MATHEMATISCHE AUSWERTUNG DES MODELLKONZEPTS MIT NICHTLINEAREN RELATIONEN

In einem ersten Abschnitt dieses dritten Hauptkapitels wollen wir uns zunächst mit der Erarbeitung formeller sowie materieller Beurteilungskriterien befassen, welche unerlässlich sind zum Zwecke der Durchführung einer ersten Sichtung von allen, in unserem Algorithmenvorrat zunächst enthaltenen nichtlinearen Optimierungsverfahren. Hierbei bemißt sich die Auswahl grundsätzlich nach der jeweiligen prinzipiellen Geeignetheit der betrachteten Lösungstechnik zur Bewältigung der vorstehenden Problemstellung sowie dem potentiellen Leistungsvermögen des entsprechenden Verfahrens im allgemeinen.

Sodann ist eine detaillierte Erörterung von grundlegenden Charakteristika derjenigen nichtlinearen Optimierungsverfahren vorzunehmen, welche das Sieb einer ersten, nach Maßgabe der besagten Eignungs- und Effizienzkriterien durchzuführenden Auslese problemlos passieren konnten.

Ein dritter Abschnitt nehme das von uns kraft seiner Ausgewogenheit letztendlich präferierte Lösungsverfahren nach Pierre/Lowe in Augenschein. Es handelt sich hierbei um einen sogenannten Augmented-Lagrangian-Algorithm, welcher zur Lösung allgemeiner, u.U. großdimensionierter Probleme der nichtlinearen Optimierung herangezogen werden kann und, wie der Name sagt, auf einem erweiterten Lagrange-Ansatz basiert. Neben einer knappen Beschreibung des Verfahrens selbst werden wir im einzelnen auf spezielle Aspekte einer EDV-gerechten Umsetzung dieser Methodik sowie auf un-

sere Erfahrungen mit entsprechenden Fortran- und APL-Versionen eingehen.

In einem letzten Abschnitt sollen schließlich Möglichkeiten diskutiert werden, wie man auf der Grundlage einer erstmaligen Auswertung des strategischen Modellsystems vermöge des Pierre-Lowe'schen Optimierungsverfahrens Informationen gewinnen könnte bezüglich des betragsmäßigen Verlustes an Optimalität, der mit der Existenz bestimmter handlungsbeschränkender Relationen in einem ursächlichen Zusammenhang steht. In diesem Zusammenhange sind dann auch Argumente pro und contra Durchführung solcher systeminduzierten Empfindlichkeitsanalysen vorzutragen.

3.1. Formale und materielle Kriterien zur Beurteilung der grundsätzlichen Eignung und Effizienz von nichtlinearen Auswertungsprozeduren

Gleich zu Beginn der diesbezüglichen Erörterungen sei festgehalten, daß wir uns ausschließlich mit solchen Lösungstechniken befassen wollen, welche EDV-mäßig implementiert worden sind und der Bewältigung praktischer Probleme der Mathematik, der Systemforschung, der Informatik und anderer angewandter Wissenschaften dienen. Unser noch näher zu spezifizierender Algorithmenvorrat kann demnach bereits an dieser Stelle um diejenigen Optimierungsverfahren dezimiert werden, welche diese Eigenschaft nicht erfüllen.

Wie bereits im Rahmen der Ausführungen des Kapitels 2.3.5. indirekt angeklungen ist, sollen bestimmte lineare Approximationsverfahren, die allesamt mehr oder weniger auf geeigneten Modifikationen des Simplexalgorithmus beruhen, nicht

zum Zuge kommen. Dies kann mit Worten von Reklaitis und Philipps wie folgt begründet werden: "If the performance index is highly nonlinear or a poorly scaled quadratic, then the gradient at a point away from the minimum (or maximum (der Verf.)) often is a very poor approximation to the function. It then becomes quite inefficient to have to proceed through a complete linear programming solution using this poor estimate" (Reklaitis, Philipps 1975, a.a.O., S. 244). Diese Kritik trifft in uneingeschränktem Maße zu auf die "linear programming based methods", welche üblicherweise wie folgt prozedieren: "The algorithms generate a sequence of feasible basis solutions by simplex transformations until the optimality criteria are fulfilled" (Schittkowski 1980, a.a.O., S.12). Die hier involvierten Verfahren der nichtlinearen Optimierung, wie etwa die "Advanced Algorithmic Features for General Mathematical Programming Systems" nach E.M.L. Beale (vgl. Beale 1970), sind demzufolge aus unserem Algorithmenvorrat zu eliminieren.

In eingeschränktem Maße gilt die oben geäußerte Kritik für die sogenannten "Gradient-Projection-" und "Reduced-Gradient-Methoden", welche auch unter dem Sammelbegriff "Reduced-Gradient-Type-Methoden" geführt werden. In Anbetracht der Tatsache, daß sie die "linear programming mechanics of basis selection, inversion, and exchange" (Reklaitis, Philipps 1975, a.a.O., S. 250) zu umgehen suchen und somit flexibler sowie weitaus weniger rechenintensiv sind, können sie nicht ohne eine vorhergehende, differenzierte Analyse ihrer Charakteristika von unserer Betrachtung suspendiert werden.

Trivialerweise muß unser Hauptaugenmerk solchen Optimierungsverfahren gelten, welche in der Lage sind, eine nicht-

linear strukturierte Zielfunktion ("performance index") unter Beachtung einer Vielzahl linearer Restriktionen zu extremisieren, wobei die Anzahl zu belegenden Veränderlicher hinreichend groß werden darf. Zur Bewältigung einer derartigen Problemstellung können selbstverständlich auch solche Lösungstechniken beitragen, die zur Handhabung allgemeiner Probleme der nichtlinearen Optimierung (nachfolgend als "Standard-NLP" bezeichnet) konzipiert werden. Das Standard-NLP kann im Wege mathematischer Symbole wie folgt dargestellt werden:

Sei $x := (x_1 \ x_2 \ x_3 \ \dots \ x_n)$, mit $x \in E^n$, wobei E^n einen n -dimensionalen euklidischen Raum bilde. Dann ist ein n -Tupel x^* zu finden, so daß $f(x)$ bezüglich x ein Maximum darstellt (Maximierung und Minimierung stellen äquivalente Probleme dar, so daß auf die gesonderte Erläuterung der Minimierung verzichtet werden kann):

$$\begin{array}{c} \text{Max} \quad f(x) \\ x \end{array}$$

sub conditione

$$p_i(x) = a_i \quad ; \ i = 1, 2, \dots, m_1 < n$$

$$q_j(x) \leq b_j \quad ; \ j = 1, 2, \dots, m_2$$

$$\text{sowie } c_k \leq x_k \leq d_k; \ k = 1, 2 \dots n$$

Hierbei repräsentieren a_i , b_j , c_k und d_k konstante reelle Zahlen ($\forall i, j, k$). Die Symbole p_i , q_i sowie f stehen hingegen für funktionale Zusammenhänge, die sowohl linear, als auch nichtlinear sein können (NLP-Funktionen).

Es sei betont, daß der mit der Anwendung allgemeiner nichtlinearer Optimierungsverfahren verbundene Zuwachs an Gene-

ralität nicht notwendigerweise mit Einbußen an Effizienz der Lösung unserer speziellen Aufgabenstellung einhergehen muß. A-priori-Reduktionen unseres Algorithmenvorrats in dieser Richtung erscheinen also ungerechtfertigt. Gleichwohl bedeutet unser Verzicht auf bestimmte, weiter oben klassifizierte Methoden der Linearen Approximation, daß eine andere Kategorie von Algorithmen, die "Unconstrained Reformulation Techniques", verstärkt ins Rampenlicht tritt. Hierbei handelt es sich um Problemlösungsverfahren, welche in aller Regel nach einem "two-phase-approach" prozedieren:

- In der ersten Phase wird die Zielfunktion unter Benutzung einer beliebigen Technik der unbeschränkten Optimierung extremisiert, wobei normalerweise von zulässigen Startlösungen auszugehen ist. Diese Suchtechniken gliedern sich in zwei Hauptkategorien:
 - Methoden, welche zum Zwecke der Optimierung des "performance index" auf dessen Differentialquotienten erster und ggf. auch zweiter Ordnung rekurrieren.
 - Ableitungsfreie Verfahren ("derivative free").

In aller Regel gelten die erstgenannten Optimierungstechniken, die auch unter dem Oberbegriff "Gradientenverfahren" firmieren (vgl. hierzu Kapitel 2.3.5.3.), als die weitaus effizienteren (vgl. Pierre-Lowe 1975, a.a.O., S. 383), sofern sie sich ausschließlich auf die Berechnung und Nutzung der ersten Ableitungen beschränken.

Wir müssen deshalb die Verwendung eines solchen Verfahrens im Rahmen der ersten Phase der Unconstrained Reformulation nachdrücklich fordern. Hierzu scheinen vor allen Dingen die "Quasi-Newton Methoden" bestens geeignet, von denen Pierre-Lowe behaupten:

"The quasi-Newton methods, also known as variable-metric

methods, are considered to be the most sophisticated methods for solving the general unconstrained problem" (Pierre-Lowe 1975, a.a.O., S. 394).

- Die zweite Phase der Unconstrained Reformulation Techniques ist hingegen mit der Fragestellung befaßt, ob und inwieweit die einzelnen Nebenbedingungen des Restriktionssystems durch die unbeschränkte Optimierung der vorangegangenen Phase verletzt worden sind. Je nach Art des hierzu verwendeten Prüf- bzw. Korrekturverfahrens kommt es
 - bereits ex-ante zur Berechnung einer maximal realisierbaren Schrittweite, welche ein Verlassen des zulässigen Bereichs in Richtung des Gradienten erfolgreich verhindert, oder aber
 - erst ex-post zur Taxierung des Ausmaßes der Überschreitungen und nachfolgender Reduktion des ermittelten Zielfunktionswertes um ein vom jeweiligen Iterationsschrittabhängiges, reellwertiges Vielfaches dieser unzulässigen Abweichungen (Penalty-Prinzip).

Wir unterscheiden in diesem Zusammenhange im wesentlichen drei verschiedene Klassen von Algorithmen, die nachfolgend zunächst einmal in gleichrangiger Weise behandelt werden sollen:

- Verfahren der quadratischen Approximation,
- Penalty- (und Barrier-)Function Methoden sowie
- Augmented Lagrangians.

Neben den bereits angesprochenen Reduced-Gradient-Type-Methoden sollen die hier genannten Optimierungsverfahren das Rückgrat unseres Algorithmenvorrats bilden. Im Rahmen der Ausführungen des nächstfolgenden Kapitels sind dann

auch die Namen der von uns im einzelnen in Erwägung gezogenen Verfahren gemäß ihrer Zugehörigkeit zu den jeweiligen Algorithmenklassen zu nennen.

In jedem Falle müssen diese Lösungstechniken jedoch über weitere Eigenschaften formeller sowie materieller Natur verfügen, welche signifikante Schlußfolgerungen bezüglich deren Effizienz zulassen. Wir stellen in diesem Zusammenhange den nachfolgenden Forderungskatalog auf, der von den Algorithmen der engeren Wahl zu erfüllen ist, um bei der Endausscheidung eine dominante Rolle spielen zu können:

- a) Sowohl die notwendigen, als auch die hinreichenden Optimalitätsbedingungen müssen in einer detaillierten Form erläutert sein, so daß die algorithmischen Freiheitsgrade, die jedem heuristischen Verfahren innewohnen, sofort erfaßt und durch die geeignete Initialisierung der entsprechenden Parameterwerte aktiv gestaltet werden können. So muß der Benutzer etwa eines Penalty-Function Verfahrens oder auch eines Augmented Lagrangion a-priori über die Konvergenzbedingungen der jeweils angewandten Methode befinden. Mit anderen Worten ist kraft Definition des zugehörigen Parameterspektrums festzulegen, welcher (geringe) Zuwachs an Optimalität zum Anlaß genommen werden sollte, die Optimierungsprozedur zu terminieren.
- b) Die einem algorithmischen Verfahren zugrundeliegenden Konvexitätsannahmen sollten nicht allzu strikt sein, um die Verwendbarkeit der im Rahmen dieser Studie ausgewählten Auswertungstechnik auf eine möglichst breite Basis zu stellen. Dies will heißen, daß es wünschenswert wäre, den jeweiligen Algorithmus auch zum Zwecke der mathematischen Bewältigung von Problemstellungen

- heranziehen zu können, welche
- in naher Zukunft quantitativ zu modellieren sind und
 - nicht notwendigerweise über derartig erfreuliche Konvexitätseigenschaften verfügen müssen, wie sie der vorstehenden Aufgabenstellung zu eigen sind.
- c) Um a-priori möglichst geringe Rechenzeiten zu gewährleisten, sollte die Anzahl der verfahrensintern durchgeführten Berechnungen des Zielfunktionswertes, des Nutzungsgrades der Restriktionspotentiale sowie der Gradienten so klein als realisierbar ausfallen.
- d) Das Leistungsvermögen einer nichtlinearen Optimierungstechnik sollte sich auch dann nicht auf einem niedrigeren Niveau einpendeln, wenn degenerierte Problemstellungen zur Lösung anstehen. Redundante Nebenbedingungen sind vom jeweiligen Algorithmus zu identifizieren und von der Betrachtung zu suspendieren ("inactive constraint").
- e) Die Optimierungsmethode unserer Wahl muß in hohem Maße reliabel, d.h. verlässlich sein. Die Beurteilung der Verlässlichkeit bemißt sich dabei weniger nach dem mathematischen Procedere selbst, als vielmehr nach der individuellen Art und Weise der Implementierung eines Algorithmus. Dies will besagen, daß sich ein solches Verfahren realiter (nachweislich) validiert haben muß kraft der erfolgreichen Bewältigung praktischer Problemstellungen. Einschränkend hierzu ist jedoch festzuhalten, daß man in diesem Zusammenhang eigentlich immer nur vor der Wahl steht, den diesbezüglichen Ausführungen der einschlägigen Fachliteratur Glauben zu schenken oder auch nicht.
- f) Das Verfahren sollte Hinweise beinhalten bezüglich der Erzeugung einer möglichst intelligenten Startlö-

sung. In Anbetracht der Tatsache, daß willkürlich gewählte Ausgangslösungen aufgrund der heuristischen Struktur der vorstehenden Methoden die Dauer der Gesamtprozeduren unnötigerweise verlängern, sollten diesbezügliche Verlegenheitslösungen tunlichst unterbleiben.

- g) Der Algorithmus muß in hohem Maße unempfindlich sein gegen sogenannte Daten-Traps. Dies will besagen, daß eine Lösungstechnik auch beim Vorliegen schlechtstrukturierter ("ill-conditioned") Problem- und Datenkonstellationen ähnlich gute Ergebnisse liefert, wie sie sich im Zuge der Handhabung homogen strukturierter Problemstellungen ergeben würden.
- h) Von einem leistungsfähigen Verfahren der nichtlinearen Optimierung erwarten wir eine möglichst rasche Konvergenz. Dies kann dann als sichergestellt betrachtet werden, wenn nicht allzu häufig oszillierende Suchrichtungen erzeugt werden.
- i) Schließlich betrachten wir es als Notwendigkeit, daß ein algorithmisches Problemlösungsverfahren die Möglichkeit vorsieht, sozusagen als Nebenprodukt des Optimierungsprozesses auch Informationen zu gewinnen bezüglich der Empfindlichkeit der optimalen Lösung gegenüber Variationen des Restriktionsplafonds. Man denke in diesem Zusammenhange etwa an die Aussagefähigkeit Lagrange'scher Multiplikatoren. -

Es darf zusammenfassend festgehalten werden, daß uns aus jeder der oben bezeichneten vier Algorithmengattungen entsprechende Verfahren der nichtlinearen Optimierung zur Verfügung stehen, welche den hier aufgestellten Effizienzkriterien in überwiegendem Maße Rechnung tragen können. Die hierdurch angesprochenen Methoden liegen darüber hinaus fast

ausnahmslos in programmierter Form vor, so daß eine EDV-gerechte Umsetzung aller im Algorithmenvorrat verbliebenen Lösungstechniken gleichermaßen im Bereich des Möglichen liegt. Präferenzen für den einen oder anderen Algorithmus können sich nur insoweit ergeben, als die jeweils verwendete Programmiersprache möglicherweise nicht unseren diesbezüglichen Anforderungen entsprechen kann. Wie bereits betont, sind die problemorientierten Sprachen Fortran (VS 5), APL sowie PL1 beliebigen anderen Sprachen, wie etwa Algol 60 oder auch Pascal, unbedingt vorzuziehen.

Es bleibt nun dem nachfolgenden Abschnitte vorbehalten, zum einen die wesentlichen Eigenschaften der besagten vier Algorithmengattungen kurz zu skizzieren, sowie zum anderen eine endgültige Entscheidung zu treffen bezüglich des zum Zwecke der Auswertung unseres strategischen Modellsystems letztendlich einzusetzenden, nichtlinearen Optimierungsverfahrens.

3.2. Detaillierte Wertschätzung effizienter nichtlinearer Lösungstechniken der engeren Wahl

Bereits in den einleitenden Bemerkungen zum dritten Kapitel der vorliegenden Studie haben wir herausgestellt, daß die Problematik der mathematischen Auswertung unseres Entscheidungskalküls mit Hilfe einer Augmented-Lagrangian-Technik gelöst werden soll. Mithin können wir an dieser Stelle freimütig einräumen, daß die hier zu erörternden Algorithmengattungen in einer Reihenfolge besprochen werden, welche exakt der ihnen jeweils beizulegenden Bedeutung und Leistungsfähigkeit entspricht. Wir beginnen mit der Darlegung der Reduced-Gradient-Type-Methoden, fahren fort

mit der Präsentation von Techniken der "Quadratic Approximation" und gehen anschließend über zur Erläuterung der Penalty-Function-Verfahren. Erst ganz zum Schluß wollen wir uns dann kritisch mit den Algorithmen der Augmented-Lagrange-Klasse auseinandersetzen, welche nach unserem Dafürhalten die wirksamsten Vertreter des Gesamtspektrums an Lagrangeorientierten Verfahren darstellen. In diesem Zusammenhange ist dann auch eine mehr oder minder ausführliche Begründung unserer Entscheidung zugunsten eines solchen Optimierungsverfahrens zu erwarten.

3.2.1. Reduced-Gradient-Type-Methoden

Ursprünglich wurden die Begriffe der "gradient-projection" sowie des "reduced gradient" ausschließlich im Zusammenhang mit den hiermit verbundenen besonderen mathematischen Transformationen angewandt. Im Laufe der Zeit ging man dazu über, die genannten Termini auf eine breitere begriffliche Basis zu stellen mit der Konsequenz, daß damit jegliche algorithmische Operation zu umschreiben sei, welche eine Zielfunktion lediglich in einem solchen Teilraum ("reduced") von Lösungstupeln projiziert ("projection"), der allen Restriktionen genügen kann.

Das Grundprinzip der Reduced-Gradient-Type-Methoden besteht mithin darin, die strikte Erfüllung aller aktiven Nebenbedingungen dadurch zu gewährleisten, daß die in der Zielfunktion gegebenen Freiheitsgrade der Extremisierung Schritt für Schritt abgebaut (reduziert) werden. Somit muß zu jeder Iteration die Chance bestehen, die Veränderungen so zu belegen, daß die Einhaltung der aktiven Restriktionen in jedem Falle gewährleistet ist. Im Falle

linearer Nebenbedingungen kann die Zulässigkeit der jeweils erzeugten Lösungsvektoren durch Festlegung einer adäquaten Suchrichtung sichergestellt werden. Beim Vorliegen nichtlinearer Restriktionen führt ein solches Vorgehen nicht zwingenderweise zum Erfolg. Es existiert leider kein opportunes Verfahren, welches es uns ermöglichen würde, die jederzeitige Erfüllung gekrümmter Linien zu jedem Iterationsschritt auf analytische Weise zu überwachen. Lediglich die Durchführung eines heuristischen Korrekturprozesses kann hier Abhilfe schaffen. Zum Zwecke der Veranschaulichung der hier präsentierten Überlegungen diene das nachfolgende kleine Zahlenbeispiel.

Es sei angenommen, daß ein Optimierungsproblem in zwei Variablen (x_1, x_2) nur eine einzige Nebenbedingung in Gestalt einer Gleichung besitze:

$$4 + x_2^3 \cdot \exp(x_1^2 \cdot \cos(x_2 - x_1)) = 0$$

Man kann die Restriktion als Festlegung einer funktionalen Beziehung zwischen den beiden Variablen x_1 und x_2 interpretieren (implizite Schreibweise). Liegt demzufolge für eine Veränderliche ein fester Wert vor, so kann für die zweite Variable auf recht einfache Weise eine Belegung ermittelt werden, so daß obige Gleichung eine wahre Aussage ergibt. Mithin involviert dieses Optimierungsproblem lediglich einen einzigen Freiheitsgrad der Extremisierung.

Wir gehen nun über zu einer skizzenhaften Beschreibung der mathematischen Prozeduren einer der bekanntesten Reduced-Gradient-Type-Verfahren. Hierbei handelt es sich um die sogenannten "Generalized-Reduced-Gradient"-Methoden.

In diesem Zusammenhange werden wir uns auf diesbezügliche Ausführungen von Schittkowski stützen (vgl. Schittkowski 1980).

Vermöge der Einführung von nichtpositiven Slackvariablen kann das Standardproblem der nichtlinearen Optimierung

$$\begin{array}{ll}
 \text{Min} & F(x) \\
 \text{s.c.} & \begin{array}{ll} G_j(x) = 0 & ; \quad j = 1, \dots, m^e \\ G_j(x) \geq 0 & ; \quad j = m^e + 1, \dots, m \end{array} \\
 & 1 \leq x \leq u ; \quad x \in \mathbb{R}^n ; \quad l, u \in \mathbb{R} ,
 \end{array} \quad (1)$$

(hier in der Fassung eines Minimierungsproblems)

wobei alle Funktionen F, G_j stetig differenzierbar seien, in ein äquivalentes Optimierungsproblem transformiert werden, dessen Restriktionen ausschließlich (nicht) lineare Gleichungen oder aber "Bounds" für die Veränderliche darstellen:

$$\begin{array}{ll}
 \text{Min} & F(x) \\
 \text{s.c.} & \begin{array}{ll} G_j(x) = 0 & ; \quad j = 1, \dots, m \\ 1 \leq x \leq u & ; \quad x \in \mathbb{R}^n ; \quad l, u \in \mathbb{R} , \end{array}
 \end{array}$$

wobei bestimmte "Bounds" $l_i, u_i, i = 1, \dots, n$, durchaus gegen $+\infty/-\infty$ streben dürfen.

Zur besseren Verdeutlichung der grundlegenden Strukturen der Generalized-Reduced-Gradient-(GRG-)Methoden empfiehlt es sich, diese als Verallgemeinerungen bestimmter linearer Programmierverfahren, wie etwa des Simplexalgorithmus oder einer seiner Varianten, zu betrachten. In der Tat wurden die ersten GRG-Algorithmen zum Zwecke der Lösung linear beschränkter Optimierungsprobleme konzipiert (vgl. Wolfe 1967).

Es sei nun x eine zulässige Lösung des oben formulierten Minimierungsproblems (1). Dieses n -Tupel kann in sogenannte Basisvariablen $x^b \in \mathbb{R}^m$ sowie Nichtbasisvariablen $x^{nb} \in \mathbb{R}^{n-m}$ partitioniert werden. Der Einfachheit halber seien diese Veränderlichen so gruppiert, daß gelte:

$$x = \begin{pmatrix} x^b \\ x^{nb} \\ x \end{pmatrix}$$

In völlig analoger Weise sind die oberen und unteren Begrenzungen der Variablen (l, u) zu partitionieren, so daß

$$l = \begin{pmatrix} l^b \\ l^{nb} \\ l \end{pmatrix} \quad \text{und} \quad u = \begin{pmatrix} u^b \\ u^{nb} \\ u \end{pmatrix}$$

Des weiteren ist die Jakobische Matrix des Gleichungssystems G , mit

$$G := (G_1, \dots, G_m)^T \quad \dots \text{ T = transposed (transponiert),}$$

durch den Ausdruck

$$D_x G(x) = \begin{pmatrix} D_{x^b} G(x) : D_{x^{nb}} G(x) \end{pmatrix}$$

zu ersetzen.

Wenn nun die Basisvariablen so gewählt werden, daß die $(m \cdot m)$ -Matrix $D_{x^b} G(x)$ nichtsingulär ist, dann können die Gleichungen

$$G_j(x^b, x^{nb}) = 0 ; j = 1, \dots, m \quad (2)$$

für beliebig vorgegebene x^{nb} bezüglich der x^b gelöst werden. Auf diese Art und Weise kann das ursprüngliche Minimierungsproblem (1) in ein vereinfachtes, reduziertes Problem der Form

$$\min_{x^{nb}} F^* (x^{nb})$$

$$\text{s.t. } l^{nb} \leq x^{nb} \leq u^{nb} ; \quad x^{nb} \in \mathbb{R}^{n-m}; \quad l^{nb}, u^{nb} \in \mathbb{R} \quad (3)$$

transformiert werden, wobei F^* definiert sei zu

$$F^* (x^{nb}) = F [x^b(x^{nb}), x^{nb}].$$

Der Ausdruck $x^b(x^{nb})$ ist dabei als Lösung des Systems (2) für eine beliebige, wertmäßig spezifizierte Veränderliche x^{nb} zu betrachten.

Dann kann der Gradient der "performance index" F^* als reduzierter Gradient der Zielfunktion F bezeichnet werden. Es sei z^{nb} definiert zum Gradienten von F^* mit

$$\begin{aligned} z^{nb} &:= \nabla_{x^{nb}} F^* (x^{nb}) = \\ &= \nabla_{x^{nb}} F(x) - D_{x^{nb}} G(x)^T \left(D_{x^b} G(x)^T \right)^{-1} \\ &\quad \nabla_{x^b} F(x), \end{aligned}$$

wobei

$$x = \begin{pmatrix} x^b \\ x^{nb} \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^n \quad (4).$$

In diesem Zusammenhange sei festgehalten, daß GRG-Methoden den Iterationsprozeß nur ausgehend von zulässigen Startlösungen $x = \begin{pmatrix} x^b \\ x^{nb} \end{pmatrix}$ beginnen können. Zum Zwecke der Lösung des Systems (3) ist dann entweder der reduzierte Gradient gemäß (4), oder aber hinreichend bekannte Modifikationen

dieses Konzepts, wie etwa konjugierte oder Quasi-Newton-Gradienten, zu berechnen, um den Vektor d ($d \in \mathbb{R}^{n-m}$) der für den nächsten Iterationsschritt zu wählende Bewegungsrichtung zu bestimmen. Das System (4) liefert uns dann einen Vektor $\bar{d}$ ($\bar{d} \in \mathbb{R}^{n-m}$), welcher auf das reduzierte Minimierungsproblem (1) so zu projizieren ist, daß sich die Suchrichtung $d = (d_1, \dots, d_{n-m})^T$ der betrachteten Iteration ergibt zu

$$d = (\bar{d}_i) \quad , \quad i = 1, \dots, n-m \quad , \quad \text{mit}$$

$$d_i = \begin{cases} 0, & \text{für } x_i^{nb} = l_i^{nb} \wedge z_i^{nb} > 0, \\ 0, & \text{für } x_i^{nb} = u_i^{nb} \wedge z_i^{nb} < 0, \\ \bar{d}_i, & \text{sonst.} \end{cases}$$

Anschließend ist eine eindimensionale Suchprozedur mit dem Ziele einzuleiten, den Ausdruck $F^* (x^{nb} + \alpha \cdot d)$ bezüglich der Stepsize α ($\alpha \geq 0$) zu minimieren.

Solche Verfahren der Ermittlung optimaler Schrittweiten nennt man Line-Search-Algorithmen oder auch Unidirectional-Search-Prozeduren. Die Durchführung dieser Linesearches erfordert die Lösung des Gleichungssystems

$$G_j (x^b, x^{nb} + \alpha d) = 0 \quad ; \quad j = 1, \dots, m$$

bezüglich der Veränderlichen x^b für eine Reihe von α -Werten. Hierbei handelt es sich um ein System von m (nicht) linearen Gleichungen in m Unbekannten x_i^b , $i = 1, \dots, m$, welches mit Hilfe des Newton'schen Verfahrens oder einer seiner Varianten durchaus einer befriedigenden Lösung zugeführt werden kann, vorausgesetzt, daß diese Methoden zufriedenstellende Konvergenzeigenschaften aufweisen. Trotzdem kann es vorkommen, daß einzelne Basisvariablen ihre

"Bounds" verletzen. Mit anderen Worten könnte der Fall eintreten, daß die Line-Search Prozedur terminiert mit der Empfehlung, die Initialbelegung der Basisvariablen x^b zu reorganisieren und den Lösungsvorgang mit einem neuen reduzierten Problem noch einmal zu starten. -

Gradient- Projection- und Reduced-Gradient-Methoden sind in mehreren Software-Paketen implementiert worden. Sie sind vor allem dann erfolgreich zur Lösung praktischer Problemstellungen einsetzbar, wenn annähernd lineare Restriktionssysteme vorliegen. Im Falle einer ausgeprägten Nichtlinearität der Nebenbedingungen kann es dagegen durchaus vorkommen, daß solche Algorithmen während der gesamten Lösungsprozedur nur ausgesprochen kleine Schrittweiten realisieren, wenn entsprechend hohe Ansprüche an die Zulässigkeit der in der jeweiligen Iteration erzeugten n -Tupel x gestellt werden. Dieser Effekt kann darüber hinaus durch sehr weit vom Optimum entfernte Startlösungen verstärkt werden. Hieraus wird offenbar, daß Reduced-Gradient-Type-Methoden in aller Regel höchst sensitiv sind gegenüber der Lage der Basislösung.

Um die hier aufgezeigten Ineffizienzen, welche aus dem Bestreben der hier betrachteten Verfahren resultieren, die jeweils aktiven Restriktionen strikt zu erfüllen ("active set strategy"), möglichst zu umgehen, geht man tendentiell dazu über, diesen Algorithmen vor Wiederherstellung der Zulässigkeit einen erhöhten Spielraum der faktischen Übertretung der Nebenbedingungen einzuräumen. Da jedoch die Duldung eines bestimmten Niveaus der Unzulässigkeit bereits stark abweicht von den Grundwerten und -prinzipien der Reduced-Gradient-Type-Verfahren, sollte man solcherart modifizierte Algorithmen einer anderen Methodenkatego-

rie der nichtlinearen Optimierung zuordnen. Wir denken in diesem Zusammenhange etwa an die Algorithmenklasse der "Projected Lagrangians".

Unser Algorithmenvorrat beinhaltet drei wohlbekannte Reduced-Gradient-Type-Methoden.

Es sind dies die Verfahren nach

- J.B. Rosen: "The Gradient Projection Method for Nonlinear Programming" (Rosen 1960),
- J. Abadie: "Generalized Reduced Gradient Algorithm ("GRGA")" (Abadie 1978) sowie
- L.S. Lasdon et al.: "Generalized Reduced Gradient Code for Nonlinear Programming (Lasdon et al. 1978).

Mit Ausnahme des Algorithmus nach J.B. Rosen liegen die genannten Optimierungstechniken in programmierter Form vor. Diese Tatsache sowie die offensichtlich mangelnde Geeignetheit des Rosen'schen Verfahrens für die Lösung großvolumiger Problemstellungen, wie sie hier zur Diskussion stehen, lassen eine klare Präferenz für die beiden letztgenannten Algorithmen erwachsen. J.B. Rosen selbst legt auf indirekte Weise Zeugnis ab von der fehlenden Reliabilität seiner Methode bezüglich der Bewältigung von Large-scale-problems, wenn er sagt: "Over 20 intermediate size nonlinear problems (65 non-negative variables, 55 inequalities, 12 equalities) have been run, with both quadratic and more general nonlinear objective functions. The running times ranged from 24 to 33 minutes" (Rosen 1960).

Folgen wir den Aussagen von Schittkowski, so erscheint auch der GRG-Algorithmus nach J. Abadie für unsere Zwecke der mathematischen Auswertung des strategischen Modellsystems ungeeignet (vgl. Schittkowski 1980). Die Vorteile des genannten Verfahrens erschöpfen sich in einer exzellenten Reliabilität, was die Lösung kleiner und mittlerer Optimierungsprobleme anbetrifft, sowie im Vorliegen hervorragender Konvergenzeigenschaften. Seine entscheidenden Nachteile dokumentieren sich in einer hohen Anzahl ständig wiederkehrender Funktions- und Gradientenberechnungen einerseits, sowie der übermäßigen Sensitivität gegenüber schlechten Startlösungen. Darüber hinaus kann den diesbezüglichen Äußerungen des Autors nicht entnommen werden, daß seine Optimierungstechnik bestens für die Bewältigung großdimensionierter Probleme der betrieblichen Praxis geeignet sei. Den Bemerkungen Schittkowskis zufolge (vgl. Schittkowski 1980) existiert jedoch eine modifizierte Fassung des Abadie'schen Verfahrens, welche eben dazu in der Lage sei. Leider ist uns die Beschaffung entsprechender Unterlagen über diesen erweiterten GRG-Algorithmus, der auf Überlegungen von Peschon und Peterson zurückgeht, verwehrt geblieben (Peschon und Peterson, Optimization and simulation computations in advanced energy control centers for electric power utilities, 1975).

Betrachten wir nun abschließend das GRG-Verfahren nach Lasdon et al. Dieser Optimierungstechnik, welche in einer Fortran-IV-Fassung verfügbar ist, kann in der Tat eine ausgezeichnete Effizienz in dem von uns definierten Sinne bescheinigt werden (vgl. Kapitel 3.1.), jedoch nur, was die Lösung relativ kleiner Problemstellungen anbelangt: "To our knowledge, no general purpose GRG code capable of solving large problems exists today. We believe that

few new ideas are required to construct such a code; a union of existing linear programming technology and some ideas presented here should suffice. Work on this project has recently begun" (Lason et al. 1978). Im gleichen Atemzug wird jedoch einschränkend bemerkt: "Future work will attempt to extend GRG to large, sparse, 'mostly linear' NLP problems of general (nonseparable) nature" (ebd.).

Selbst wenn diese neuesten Erkenntnisse von Lasdon et al. verfügbar gewesen wären, hätten wir hieraus keinerlei Nutzen ziehen können, da wir ohne weitere Informationen über das jeweilige Inputdatenmaterial der künftig im Wege unseres strategischen Modellsystems zu lösenden Problemstellungen keine Aussagen machen können über die effektive Be-siedelungsdichte der Koeffizientenmatrizen. Somit muß auf die Verwendung der Lasdon'schen Optimierungstechnik ebenso verzichtet werden. Dies erscheint umso sinnvoller, wenn man die Gesamtheit der Vor- und Nachteile der Reduced-Gradient-Type-Methoden gegeneinander abwägt, welche im Fortgang dieses Abschnittes zur Diskussion gebracht wurden.

3.2.2. Quadratic-Approximation-Verfahren

Wie bereits der Name sagt, verlangen diese Methoden zu jedem Iterationsschritt nach der Lösung eines quadratischen Subproblems zum Zwecke der Festlegung einer adäquaten Bewegungsrichtung. Nachfolgend ist jeweils entlang der so bestimmten Suchrichtung eine Penalty-Funktion bezüglich der Veränderlichen x zu minimieren (wir abstrahieren wieder von der gesonderten Aufführung des Maximierungsproblems). Auf diese Art und Weise gewinnt man ein neues Lösungstupel $x = (x_1, \dots, x_n)$. Dabei besteht die Zielfunk-

tion eines beliebigen Subproblems aus einer quadratischen Näherung entweder des "performance index" F , oder aber der äquivalenten Lagrange-Funktion L .

Wir gehen nun über zur Darlegung spezieller Aspekte des Procedere solcher quadratischen Approximationsverfahren. Hierbei wollen wir uns auf solche Algorithmen beschränken, welche auf der Methode von Murray und Biggs basieren (vgl. Murray 1969 sowie Biggs 1971).

Diese Optimierungsverfahren legen eine externe Penalty-Funktion P der Gestalt

$$\begin{aligned} P(x, r_k) &:= F(x) + r_k \cdot G(x)^T \cdot G(x) = \\ &= F(x) + r_k \sum_{j \in J_x} G_j^2(x) \end{aligned} \quad (1)$$

zugrunde, wobei

J_x ... die Indexmenge der aktiven, d.h. vollständig ausgeschöpften sowie potentiell verletzbaren Nebenbedingungen darstelle,

$G(x)$... den Vektor all jener aktiven Restriktionen symbolisieren, sowie

$\{r_k\}$... eine monoton mit der Anzahl der Iterationsschritte (k) steigende Folge von Penalty-Parametern bilde.

Die grundlegende Idee dieser Vorgehensweise besteht darin, lediglich die approximativen Minima des Systems (1) zu ermitteln, anstatt, wie bei den klassischen Penalty-Verfahren üblich, die exakte Extremisierung zu betreiben (vgl. hierzu Kapitel 3.2.3.).

Für ein beliebiges n -Tupel x liefert die Differentiation von (1) den Ausdruck

$$\nabla_x P(x, r_k) = \nabla_x F(x) + 2 r_k D_x G(x)^T G(x) \quad (2).$$

Es gilt nun einen additiven Korrekturterm p bezüglich x zu ermitteln, so daß der Ausdruck $(x + p)$ als eine Approximation der unbeschränkten Optimallösung des Systems (1) interpretiert werden kann. Hierfür konvergiert dann die verkürzte Taylor'sche Entwicklung des Ausdrucks (2) gegen Null:

$$\begin{aligned} \nabla_x P(x + p, r_k) = & \nabla_x F(x) + \nabla_x^2 F(x)p + 2 r_k D_x G(x)^T \\ & \cdot G(x) + 2 r_k D_x G(x)^T D_x G(x)p + \\ & + 2 r_k \sum_{j \in J_x} G_j(x) \nabla_x^2 G_j(x) p \quad (3) \end{aligned}$$

Unter Vernachlässigung des Terms $\nabla_x^2 F(x)p$ zeigt Murray, daß eine Abschätzung erster Ordnung des Systems (3) wie folgt zu charakterisieren ist:

$$D_x G(x)p \geq \left(\frac{r_{k-1}}{r_k} - 1 \right) G(x).$$

Im Murray'schen Verfahren definieren die obigen Ungleichungen die linearen Restriktionen des jeweiligen quadratischen Subproblems, dessen Zielfunktion durch den Terminus

$$\frac{1}{2} p^T B p + p^T \nabla_x F(x)$$

gegeben ist, wobei

$B \dots$ eine geeignete Näherung der Hesse'schen Matrix von $F(x)$ symbolisiere, welche zu jedem Iterationsschritt vermöge einer adäquaten Quasi-

Newton-Methode neu zu erstellen ist.

J_x ... die Indexmenge der zur Iteration k verletzten Nebenbedingungen darstelle.

Hierzu ist abschließend noch anzumerken, daß Murray auch recht brauchbare Update-Schemata für die Penalty-Parameter r_k bereithält (vgl. Murray 1969). -

Die Sichtung unseres Algorithmenvorrats bezüglich der Präsenz erfolgversprechender quadratischer Approximationsverfahren fördert die Optimierungsmethode "XROP" nach M.C. Bartholomew-Biggs zutage (vgl. Biggs 1979), welche uns in Gestalt einer intelligent programmierten Fortran-IV-Fassung zugänglich ist. Schittkowski bezeichnet diesen Algorithmus in seiner einschlägigen Untersuchung als einen der "most effective programs of this study" (Schittkowski 1980). Zugleich räumt er jedoch ein, daß es sowohl um das Konvergenzverhalten dieses Verfahrens, als auch um dessen Reliabilität vergleichsweise schlecht bestellt ist. Wiederum liegt daher der Schluß nahe, daß wir uns zum Zwecke der Bewältigung unserer großvolumigen Problemstellungen nach anderen Lösungsmethoden umsehen müssen. Dies gilt umso mehr, als die von Schittkowski durchgeführten Testläufe mit "XROP", auf deren Ergebnissen die obige Reliabilitätsaussage beruht, ausschließlich kleine und mittlere Problemumfänge mit besonderen mathematischen Eigenschaften berücksichtigen (vgl. Schittkowski 1980).

3.2.3. Penalty-Funktion-Methoden

Die Penalty-Verfahren gehören wohl zu den allerersten Versuchen einer befriedigenden Lösung des Standard-NLP. Das Grundprinzip einer solchen Vorgehensweise besteht in der

Konstruktion einer Folge von unbeschränkten Subproblemen, die durch eine der in Kapitel 3.1. aufgeführten Techniken der "unconstrained optimization" so zu lösen sind, daß diejenigen Werte der Systemveränderlichen $x = (x_1, \dots, x_n)$, welche die unbeschränkten Probleme minimieren (maximieren), gegen die Optimallösung des globalen, beschränkten Problems konvergieren.

Zu diesem Zwecke sind der Zielfunktion $F(x)$ sogenannte "Penalties" additiv hinzuzufügen, welche den zu einem bestimmten Iterationsschritt realisierten Zielfunktionswert F immer dann "bestrafen", wenn der zulässige Bereich verlassen wurde. Dabei bestimmt der Penalty-Parameter r_k , bildlich gesprochen, das Strafmaß. Ausgehend von der Folge der r_k

$$\{r_k\}, \text{ mit } r_k \rightarrow \infty \text{ für } k \rightarrow \infty$$

können Penalty-Funktionen etwa definiert werden zu

$$p(x, r_k) := F(x) + r_k \sum_{j=1}^{m_e} G_j^2(x) + r_k \sum_{j=m_e+1}^m \left[\min(0, G_j(x)) \right]^2 \quad (1)$$

Diese Funktion repräsentiert eine sogenannte externe Penalty-Funktion, da die optimalen Lösungen der betrachteten Subprobleme in aller Regel der zum Lösungsbereich komplementären Menge aller n -Tupel x angehören. Im Gegensatz hierzu kann die Funktion

$$p(x, r_k) := F(x) + r_k \sum_{j=1}^{m_e} G_j^2(x) - \frac{1}{r_k} \sum_{j=m_e+1}^m \ln [G_j(x)] \quad (2)$$

als interne Penalty-Funktion bezeichnet werden, in Anbetracht der Tatsache, daß die Lösungen der Teilprobleme auf eine vollständige Ausschöpfung der durch die Ungleichheitsrestriktionen vorgegebenen Handlungsspielräume verzichten müssen. Das System (2) trägt aus diesem Grunde auch den Namen "(logarithmische) Barnier-Funktion".

Eine Kombination der Beziehungen (1) und (2) ergibt dann eine sogenannte gemischte intern-externe Penalty-Funktion der Form

$$P(x, r_k) := F(x) + r_k \sum_{j=1}^{m_e} G_j^2(x) + r_k \sum_{j \in J_1} [\min(0, G_j(x))]^2 - \frac{1}{r_k} \sum_{j \in J_2} \ln[G_j(x)] \quad (3)$$

wobei die Indexmenge J_1 und J_2 definiert seien zu

$$J_1 := \{j / G_j(x_0) \leq 0 \wedge m_e < j \leq m\}, \\ J_2 = \{j / G_j(x_0) > 0 \wedge m_e < j \leq m\}.$$

Der Vektor x_0 bezeichnet in diesem Zusammenhange die Ausgangslösung des algorithmischen Procederes. Es darf als unbestritten gelten, daß die Minimierung der Ausdrücke (1), (2), (3) oder auch einer anderen, äquivalenten Funktionsbeziehung eine approximative Optimallösung für das Standard-NLP liefert. Werden einige zusätzliche Annahmen gemacht, kann besagte Konvergenz der algorithmischen Lösungen gegen die Lösung des beschränkten Problems auch nachgewiesen werden. Wir verweisen hierzu auf die entsprechenden Ausführungen von Fiacco und Mc Cormick (1968). -

Der unbestrittene Vorteil der Penalty-Verfahren besteht darin, daß sie einer Programmierung sehr leicht zugänglich sind, vorbehaltlich der Annahme, daß die Verfügbarkeit geeigneter Methoden der unbeschränkten Optimierung gewährleistet ist.

Dem muß jedoch ein schwerwiegender Nachteil dieser Techniken gegenübergestellt werden, der von F.A. Lootsma mit dem Stichwort "pathological behaviour of penalty-function algorithms" (vgl. Lootsma 1978) umschrieben wird. "The main disadvantage is the increasing condition number of the Hessian matrix of the penalty function generating more and more ill-conditioned unconstrained subproblems" (Schittkowski 1980). Die in unserem Algorithmenvorrat befindlichen Penalty-Funktion-Verfahren sind nun im Lichte dieser Erkenntnisse einer detaillierteren Wertschätzung zu unterziehen. Hierbei handelt es sich um die Methoden nach

- J.P. Indusi: "A Computer Algorithm for Constrained Minimization" (Indusi 1972),
- W.C. Mylander et al.: "A Guide to SUMT-Version 4: The Computer Program Implementing the Sequential Unconstrained Minimization Technique for Nonlinear Programming" (Mylander et al. 1971) sowie
- F.H. Lootsma: "The Algol 60 Procedure 'Minifun' for Solving Non-Linear Optimization Problems" (Lootsma 1978).

Beginnen wir mit der kritischen Würdigung des Indusi'-schen Verfahrens. Diesen Algorithmus kann eine durchschnittliche Effizienz bei einem insgesamt zufriedenstellenden Konvergenzverhalten bescheinigt werden. Gemäß den Darlegungen Schittkowskis haben wir es hier jedoch mit einem der am wenigsten verlässlichen nichtlinearen Programmierverfahren zu tun. "The program could not solve 34 test problems of 80 in the first test series. Besides some test runs interrupted by excessive calculation times or overflow, most of these failures occurred since the program could not proceed to the acceleration phase because of rank-deficiency. This leads to infinite loops although the iterates are close to the solution" (Schittkowski 1980).

Obwohl dem nichts mehr hinzuzufügen ist, sei noch angemerkt, daß dieser Algorithmus überdies sehr sensibel auf schlechte Startlösungen reagiert sowie die Lösung schlecht strukturierter Problemstellungen mit einer drastischen Erhöhung der hierzu notwendigen Iterationsschritte quittiert. Demzufolge müssen wir davon ausgehen, daß dieser Algorithmus unseren Anforderungen in keinem Falle genügen kann.

Es darf vorweggenommen werden, daß die gleiche Aussage auch für die Methode "SUMT", zurückgehend auf Mylander et al., Gültigkeit beanspruchen darf. Wir haben hier mit einem der ersten ernstzunehmenden Versuche zu tun, das Standard-NLP in einer befriedigenden Weise zu lösen. Trotzdem muß sich dieser Algorithmus den Vorwurf gefallen lassen, allzu verschwenderisch mit der (teuren) Rechenzeit umzugehen, was in erster Linie auf eine Vielzahl von Funktionsbewertungen zurückzuführen ist, die von einem Iterationsschritt zum anderen anfallen. Darüber hinaus weist diese Methode aus-

gesprochen schlechte Konvergenzeigenschaften auf, die einhergehen mit einer völlig ungenügenden Reliabilität. "Many test runs are interrupted by an internal time limit since the convergence conditions do not work satisfactorily, and some failures are caused by overflow" (Schittkowski 1980).

Das dritte Penalty-Verfahren unseres Algorithmenvorrats, die Optimierungstechnik "Minifun" nach F.A. Lootsma, disqualifiziert sich sozusagen selbst kraft der Aussage des Autors bezüglich der Effizienz seiner mathematischen Prozeduren: "Practical experience has shown that Minifun can be used to solve problems with up to 50 variables and 50 constraints" (Lootsma 1978). Auch Schittkowski spricht von mangelnder Effizienz des Verfahrens, zu hohen Rechenzeiten und geringer Verlässlichkeit (vgl. Schittkowski 1980). -

Somit müssen wir auf die Verwendung der Penalty-Funktions-Verfahren zum Zwecke der mathematischen Auswertung unseres strategischen Modellsystems gezwungenermaßen verzichten. Dies erscheint umso zweckmäßiger, wenn man sich die konzeptionell bedingten Defekte dieser Optimierungsmethoden mit allen ihren Konsequenzen noch einmal vor Augen führt.

3.2.4. Augmented-Lagrangian-Algorithmen

Es wird in der einschlägigen Fachliteratur allgemein angenommen, daß Optimierungsstrategien, die in irgendeiner Weise auf Lagrange-Ansätzen basieren, über die besten Konvergenzraten verfügen und darüber hinaus überlegene nu-

merische Eigenschaften aufweisen würden. Entsprechende Äußerungen lassen sich unter anderem bei Gill und Murray (1974) nachlesen.

Diese als äußerst positiv einzustufenden Charakteristika, welche selbstverständlich auch den Augmented-Lagrangians zu eigen sind, dürfen jedoch nicht über die nachfolgend dokumentierten Probleme hinwegtäuschen, die mit der Verwendung gängiger, Lagrange-orientierter Optimierungsmethoden im Zuge der Lösung spezifischer Aufgabenstellungen verbunden sein können:

1. Fast alle Lagrange-Verfahren generieren eine Folge von Lösungstupeln, welche teilweise oder auch gänzlich außerhalb des zulässigen Bereichs liegen. Da es u.U. unmöglich sein kann, für solche Belegungskonstellationen einen korrespondierenden Zielfunktionswert zu ermitteln, oder aber der Fall eintreten mag, daß die zur Debatte stehenden Variablenwerte im Lichte der Problemstellung sinnlos und damit inhaltslos sind, besteht ein latenter Bedarf an Lagrange-Algorithmen, die ausschließlich zulässige Approximationen der optimalen Lösung bereitstellen. Der Vorteil eines solchen Verfahrens liegt in der Tatsache begründet, daß jeder Lauf des Algorithmus eine nutzbare, weil zulässige, wenn auch lediglich suboptimale Lösung zu liefern vermag.
2. In den meisten Fällen setzen die Lagrange-Techniken voraus, daß in der Optimallösung die sogenannten Kuhn-Tucker-Bedingungen Platz greifen. Sollten diese Bedingungen jedoch de facto nicht erfüllt sein, hat dies einen relativ schlechten Wirkungsgrad der betrachteten Algorithmen zur Folge.
3. Die Effizienz einer Mehrzahl von Lagrange-Verfahren hängt in entscheidendem Maße davon ab, ob zu jedem

Iterationsschritt geeignete Werte der Lagrange'schen Multiplikatoren zur Verfügung stehen. Hierbei handelt es sich jedoch, sogar im Rahmen der Bewältigung lediglich linear beschränkter Aufgabenstellungen, um ein recht anspruchsvolles Problem.

Es gilt nunmehr, die in unserem Algorithmenvorrat befindlichen Augmented-Lagrangian-Methoden in definitiver Kenntnis der obengenannten allgemeinen Problemaspekte zu beurteilen, welche die Verwendung solcher Verfahren in aller Regel mit sich bringt. Es erscheint jedoch zweckmäßig diesen Betrachtungen eine knappe Erläuterung der Funktionsweise von Augmented-Lagrangians voranzustellen.

In diesem Zusammenhange ist hervorzuheben, daß die Multiplikatorstechniken den entscheidenden Nachteil der Penalty-Algorithmien zu umgehen suchen, der darin besteht, daß die Penalty-Parameter r_k gegen unendlich große Werte streben müssen, um eine hinreichende globale Konvergenz des Prozederes zu gewährleisten. Ursprünglich wurden sie zum Zwecke der Lösung von solchen Optimierungsproblemen konzipiert, welche ausschließlich von Gleichungen beschränkt sind (d.h. $m_e = m$). Das Grundprinzip der Methode ist gekennzeichnet durch die Minimierung (Maximierung) einer Folge von modifizierten Penalty-Funktionen.

Powell definierte eine solche Funktion etwa durch die Beziehung

$$\phi(x, v, s) := F(x) + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m s_j (G_j(x) - v_j)^2 \quad (1)$$

wobei

$$x \in \mathbb{R}^n, v = (v_1, \dots, v_m)^T \in \mathbb{R}^m \text{ sowie}$$

$$s = (s_1, \dots, s_m)^T \in \mathbb{R}^m \text{ mit } m = m_e \text{ (vgl. Powell 1969).}$$

Vermöge der Wahl hinreichend großer Penalty-Werte s_j sowie der Generation eines adäquaten Schemas der Fortschreibung des Vektors v von einem Iterationsschritt zum anderen (d.h. nach Durchführung der unbeschränkten Minimierungsprozesse bezüglich ϕ), sollte das Produkt $v_j s_j$ den korrespondierenden Optimalwert u_j^* des j -ten Lagrange'schen Multiplikators des Standard-NLP bestmöglich approximieren ($\forall j = 1, \dots, m \wedge m = m_e$).

Hestenes hat die nachfolgende Alternative einer erweiterten Lagrange-Funktion zur Lösung des allgemeinen Problems der nichtlinearen Optimierung in die Diskussion eingebracht (vgl. Hestenes 1969):

$$L(x, u, s) := F(x) - \sum_{j=1}^m u_j G_j(x) + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m s_j G_j^2(x) \quad (2)$$

wobei

$$x \in \mathbb{R}^n, u = (u_1, \dots, u_m)^T \in \mathbb{R}^m, s = (s_1, \dots, s_m)^T \in \mathbb{R}^m$$

sowie $m = m_e$.

Definieren wir $v_j s_j$ zu

$$v_j \cdot s_j := u_j,$$

so können wir die Systeme (1) und (2) verknüpfen durch die Beziehung

$$\phi(x, v, s) = L(x, u, s) + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m s_j v_j^2 \quad (3),$$

so daß beide Funktionen bezüglich x über identische Optimalösungen verfügen.

Im Falle der Existenz von Ungleichheitsrestriktionen ($m_e < m$) sind die Systeme (1) und (2) in analoger Weise zu

modifizieren. Die Adaption der Powell'schen Funktion (1) an das in oben bezeichneter Weise veränderte Nebenbedingungsschema ist auf Fletcher (1975) zurückzuführen:

$$\phi(x, v, s) := F(x) + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{m_e} s_j (G_j(x) - v_j)^2 + \frac{1}{2} \sum_{j=m_e+1}^m s_j [G_j(x) - v_j]^{-2} \quad (4),$$

wobei

$$G_j(x) - v_j := a_j \text{ mit } a_j := \min(0, a_j),$$

$$a_j \in \mathbb{R}, \quad j = m_e + 1, \dots, m.$$

Eine geeignete Modifikation der Hestenes'schen Funktion (2) haben wir Rockafellar (1974) zu verdanken:

$$L(x, u, s) := F(x) - \sum_{j=1}^m \left[u_j G_j(x) - \frac{1}{2} s_j G_j^2(x) \right] - \sum_{j=m_e+1}^m \begin{cases} \left[u_j G_j(x) - \frac{1}{2} s_j G_j^2(x) \right] & , \text{ für } G_j(x) \leq \frac{u_j}{s_j} \\ \frac{1}{2} \frac{u_j^2}{s_j} & , \text{ sonst} \end{cases} \quad (5)$$

Es bleibt anzumerken, daß der Wahrheitsgehalt der Beziehung (3) von der Einführung besagter Ungleichheitsrestriktionen nicht tangiert wird.

Üblicherweise wird der Iterationsprozeß bei Multiplikator-Methoden mit hinreichend großen Penalty-Parametern s_j ($j = 1, \dots, m$) und beliebigen Belegungen für v bzw. u in Gang gesetzt. Sodann ist (je nach Wahl des theoretischen Fundus) eines der beiden nachfolgenden, unbeschränkten Minimierungsprobleme zu lösen:

$$\min_x \mathcal{J}(x, v, s), \quad x \in \mathbb{R}^n \quad \text{oder}$$

$$\min_x L(x, u, s), \quad x \in \mathbb{R}^n.$$

Das Ergebnis dieses Extremisierungsprozesses ist geeignet, eine weitere Approximation $\bar{x}$ für das optimale Lösungstupel zu liefern. Sodann ist die Fortschreibung der v_j bzw. u_j anhand der folgenden, vergleichsweise simplen Schemata durchzuführen:

$$\bar{v}_j := v_j - G_j(\bar{x}), \quad j = 1, \dots, m_e$$

$$\bar{v}_j := v_j - \min [G_m(\bar{x}), v_j], \quad j = m_e + 1, \dots, m$$

oder analog

$$\bar{u}_j := u_j - s_j G_j(\bar{x}), \quad j = 1, \dots, m_e$$

$$\bar{u}_j := u_j - \min [s_j G_j(\bar{x}), u_j], \quad j = m_e + 1, \dots, m.$$

Die Werte der Penalty-Parameter s_j sind indessen nur dann zu erhöhen, wenn die Schnelligkeit der Konvergenz nicht den ursprünglichen, in den s_j -Beträgen dokumentierten Vorstellungen entspricht. Man kann übrigens zeigen, daß die optimale Lösung x^* des Standard-NLP sowie die korrespondierenden Optimalwerte u_j^* der Lagrange'schen Multiplikatoren im Wege einer (zumindest lokal) linearen Konvergenzrate erreicht werden. Hierzu ist jedoch vorauszusetzen, daß die s_j ($\forall j = 1, \dots, m$) hinreichend große Werte annehmen. -

Unser Algorithmenvorrat beinhaltet zwei der wohl bekanntesten Augmented-Lagrangian-Methoden, welche beide in Gestalt

von ausführlichen Fortran-Source-Listings in programmierter Form vorliegen. Es sind dies die Optimierungsverfahren nach

- R. Fletcher: "An Ideal Penalty Function for Constrained Optimization" (Fletcher 1975) sowie
- D.A. Pierre und M.J. Lowe: "Mathematical Programming Via Augmented Langrangians" (Pierre und Lowe 1975).

Dabei basiert der Augmented-Lagrangian von Fletcher ("VFO1A") auf der weiter oben beschriebenen, vom Autor selbst kreierten modifizierten Penalty-Funktion $\mathcal{F}(x,v,s)$. Unbeschränkte Minimierungsprozesse werden kraft eines wirksamen Quasi-Newton-Verfahrens (vgl. hierzu Kapitel 3.1.) bewältigt, welches soweit als irgend möglich auf die unter bestimmten Umständen wenig verlässlichen Line-Search-Prozeduren verzichtet (vgl. Kapitel 3.2.1.).

"VFO1A" scheint eines der effizientesten Multiplikator-Verfahren zu sein, welches konkurrierende Algorithmenklassen, etwa die GRG-Methoden, vollständig in den Schatten stellt (vgl. Schittkowski 1980). Dem ist entgegenzuhalten, daß dieser Algorithmus eine vergleichsweise hohe Zahl von Gradientenberechnungen benötigt und relativ langsam konvergiert, was auf das Bestreben zurückzuführen ist, die Optimallösung so nahe der Startlösung als möglich zu approximieren. Hieraus ist eine entsprechend hohe Sensitivität des Verfahrens gegenüber weit vom globalen Optimum entfernt situierten Basislösungen abzuleiten. Überdies hat Schittkowski in fundierten Testreihen auf Basis der Fortran-Fassung des Algorithmus festgestellt, daß "VFO1A" wenig reliabel ist, was sich in einer Reihe erfolgloser Problemlö-

sungsversuche und "program-overflows" niederschlägt (vgl. Schittkowski 1980). Dies legt den Schluß nahe, daß "VF01A" zur Lösung von Large-scale-problems der betrieblichen Praxis ungeeignet ist. -

Gehen wir nun über zur Wertschätzung des Augmented-Lagrange nach Pierre-Lowe. Hierbei handelt es sich um einen speziellen erweiterten Lagrange-Ansatz, welcher gewisse Ähnlichkeiten mit dem auf Rockafellar zurückgehenden System (5) besitzt. Es sei betont, daß dieser Ansatz ausschließlich für Restriktionen der Gestalt

$$G_j(x) = a_j \quad (j = 1, \dots, m_e) \text{ sowie } G_j(x) \geq b_j \quad (j = m_e + 1, \dots, m),$$

mit $a_j, b_j \in \mathbb{R} \quad (x_j)$

konstruiert wurde. Weitere Einzelheiten zur Struktur und Funktionsweise des Verfahrens sind dem Kapitel 3.3.1. zu entnehmen.

Die zu Beginn jedes Iterationsschrittes festzulegenden, jeweiligen Bewegungsrichtungen werden vermöge der "DFP-Formel" berechnet: "The first quasi-Newton algorithm, and to date still one of the most powerful and sophisticated of the gradient methods, is Fletcher and Powell's development of Davidson's Variable Metric Method, the Davidson-Fletcher-Powell (DFP) method" (Pierre, Lowe 1975; vgl. hierzu Davidson 1959 sowie Fletcher, Powell 1963). Zum Zwecke der Approximation der lokalen Optima bestimmter Suchrichtungen ("unidirectional search") dient eine quadratische Polynombeziehung.

Über die offensichtlichen Nachteile dieses Augmented-La-

grangians ist schnell Bilanz gezogen. Als problematisch mag die bereits als allgemeiner Defekt der Lagrange-Verfahren identifizierte Tatsache zu werten sein, daß auch die Pierre-Lowe'sche Methode mit Approximationen der Optimallösung des Standard-NLP terminieren kann, welche außerhalb des zulässigen Bereichs liegen. Pierre-Lowe tragen diesem Phänomen jedoch dadurch Rechnung, daß sie detaillierte Informationen bezüglich einer Anpassung der Initialparameter (Penalties, Startwerte der Multiplikatoren u.ä.m.) erteilen, um besagte negative Erscheinung in einem zweiten Lauf des Algorithmus zu umgehen.

Weitaus weniger gravierend oder nachteilig mutet hingegen die Forderung an, daß die gemäß Pierre-Lowe erzeugten Optima die Kuhn-Tucker Bedingungen erfüllen müssen. "Theorem 2.3. (die Kuhn-Tucker-Relationen (d.Verf.)) is a first order characterization of local maxima in that it involves first-order differentiability of the problem-functions. It therefore does not take into account the curvature of the functions if they are nonlinear" (Pierre-Lowe 1975). Letztgenannten Mangel heilen die Autoren vermöge der Einführung hinreichender Optimalitätsbedingungen auf Basis der Kuhn-Tucker-Bedingungen (ebd., S. 94 ff.).

Schließlich verdient noch die der Pierre-Lowe'schen Methode zu eigene, relativ hohe Sensitivität gegenüber geringfügiger Modifikationen der Problemstellung erwähnt zu werden. Dies will besagen, daß bereits relativ kleine Eingriffe etwa in die Struktur der Koeffizientenmatrix zu stark von der ursprünglichen Lösung abweichenden Ergebnismerkmalen führen können (vgl. Schittkowski 1980).

Die genannten Nachteile des Augmented-Lagrangian nach

Pierre-Lowe werden jedoch überkompensiert von einem ganzen Katalog vortrefflicher Eigenschaften, die Schittkowski zur nachfolgenden Laudatio veranlassen: "Remarkable performance properties are the attempts to approximate local solutions close to the starting point and an excellent behaviour when solving degenerate problems. LPNLP (Name des Pierre-Lowe'schen Algorithmus (d. Verf.)) is sensitive to slight variations of the problem, but not at all to the position of the starting point as observed for other multiplier methods like VFO1A. The underlying mathematical method and the program are well documented in the book of Pierre and Lowe" (Schittkowski 1980).

Dem kann hinzugefügt werden, daß sich dieser Augmented-Lagrangian im Rahmen der von Schittkowski durchgeführten Testreihen keine gravierenden Blößen gegeben hat. Im Gegenteil, das Pierre-Lowe'sche Optimierungsverfahren konnte in den Disziplinen "Reliabilität" sowie "möglichst geringe Anzahl an Funktions- und Gradienten-Evaluierungen", gemessen an den diesbezüglichen "performances" der Mitstreiter, eindeutige Vorteile für sich verbuchen (vgl. Schittkowski 1980).

Letztlich ausschlaggebend für unsere Entscheidung, das Pierre-Lowe'sche Verfahren zum Zwecke der Auswertung unseres strategischen Modellsystems heranzuziehen, waren indes die nachfolgenden Charakteristika dieses Algorithmus:

1. Pierre-Lowe haben die Funktionsweise ihrer Methode mit allen hier involvierten Freiheitsgraden der Gestaltung, die dem Benutzer offenstehen, so detailliert erläutert, daß es vergleichsweise leicht fällt, die entsprechenden Initialparameter in sinnvoller Weise zu wählen. Dies vermag selbstverständlich die Konvergenzeigen-

schaften des Verfahrens außerordentlich positiv zu beeinflussen, was sich mit den Erfahrungen deckt, die wir selbst im Rahmen umfangreicher Testläufe gesammelt haben (vgl. hierzu Kapitel 3.3.2. sowie 3.3.3.).

2. Der Algorithmus ist vollständig unempfindlich, was die Optimumsferne (bzw. -nähe) der Basislösung anbelangt. Dies impliziert, daß wir uns bezüglich der ansonsten für heuristische Problemlösungsmechanismen charakteristischen Notwendigkeit der Erzeugung einer möglichst günstigen Startlösung keinerlei Gedanken machen müssen.
3. Mit dem Konzept der Lagrange'schen Multiplikatoren verfügen wir über ein leistungsfähiges Instrumentarium der Gewinnung von Informationen bezüglich der Sensitivität der optimalen Lösung gegenüber (marginalen) Variationen des Restriktionsplafonds. Auf der Basis der Aussagekraft dieser Multiplikatoren können wir zu modellgestützten Sensitivitätsanalysen übergehen (vgl. hierzu Kapitel 3.4.).
4. Pierre-Lowe sind die einzigen Vertreter der nicht-linearen Programmierung, die ihrem Problemlösungsverfahren die Bewältigung großvolumiger Aufgabenstellungen der betrieblichen Praxis expressis verbis zutrauen: "The purpose of this book is ... to introduce a powerful method of nonlinear programming that employs augmented Lagrangians, leading to a comprehensive algorithm and computer code for solving NLP's that may depend on many variables and constraints" (Pierre-Lowe 1975). Das Vertrauen, welches wir dieser Erklärung der Autoren entgegengebracht haben, hat sich inzwischen, dies darf vorweggenommen werden, mehrfach ausgezahlt. Dieser Algorithmus hat seine Fähigkeit, Problemstellungen der von uns anvisierten Dimension in angemessenen Zeiten einer Lösung zuzuführen, in einer hinreichend eindrucksvollen Weise unter Beweis gestellt.

3.3. Der Augmented-Lagrangian-Ansatz nach Pierre-Lowe: Eine ausgewogene Lösungstechnik für Large-Scale- Problems

Am Anfang dieses Kapitels soll zunächst eine knappe, jedoch hinreichend umfassende Beschreibung des Procedere dieses Algorithmus stehen. In diesem Zusammenhange wollen wir uns mit der Erläuterung des Aufbaus der erweiterten Lagrange-Funktion einerseits, sowie dem logischen Ablauf der Prozeßstufen des heuristischen Verfahrens andererseits befassen. Detaillierte Informationen bezüglich dieser Materie bitten wir jedoch dem Werk von Pierre-Lowe direkt zu entnehmen (vgl. Pierre-Lowe 1975).

Sodann müssen wir uns mit der Darlegung des Leistungsspektrums dieses Optimierungsverfahrens beschäftigen. Im Abschnitt 3.3.2. soll dabei primär die Erörterung der Effizienz einer APL-Version dieser Methode im Vordergrund stehen. Zu diesem Zwecke bedienen wir uns der Ergebnisse ausgedehnter Testreihen auf Basis geringer sowie auch großvolumiger Problemstellungen. Im Abschnitt 3.3.3. werden hingegen analoge Aussagen hinsichtlich des Leistungsvermögens einer modifizierten Fortran-V-Version zu lancieren sein.

In einem vierten Teilabschnitt werden wir einzelne Maßnahmen formaler Natur präsentieren, welche einer möglichst intelligenten Aufbereitung der Datenstruktur des strategischen Entscheidungskalküls dienen. Eine solche Aufbereitung erscheint unerlässlich, wenn man eine denkbar komfortable Auswertung des Modellsystems vermöge der Fortran-V-Version oder auch der APL-Fassung des Pierre-Lowe'schen Verfahrens erstrebt.

Abschließend sind erste Ergebnisse von kompletten Modell-
auswertungen darzulegen sowie zum Zwecke einer resümieren-
den Beurteilung der praktischen Anwendbarkeit des hier zur
Debatte stehenden Augmented-Lagrangian zu analysieren.
Leider ist es uns aus Gründen des innerbetrieblichen Da-
tenschutzes verwehrt, in diesem Zusammenhange mit authen-
tischen Zahlen aufzuwarten.

3.3.1. Kurzbeschreibung der mathematischen Strukturen und der Arbeitsweise des Verfahrens

Im Gegensatz zu unserer Zielsetzung der Erzeugung eines
kostenminimalen Investitions- und Fertigungsprogramms ge-
hen Pierre- Lowe von der Maximierung des nachfolgenden
nichtlinearen Programms aus:

Es ist ein Vektor x^* zu ermitteln, so daß gilt

$$f(x^*) = \max_x f(x), \text{ mit } x = (x_1, \dots, x_n),$$

sub conditione

$$\begin{aligned} p_i(x) &= a_i, \quad i = 1, 2 \dots m_1 \leq n, \quad \text{sowie} \\ q_j(x) &\leq b_j, \quad j = 1, 2 \dots m_2 \end{aligned} \quad (1)$$

Diese Nebenbedingungen lassen sich auch kompakter formu-
lieren als

$$p(x) = a \quad \text{und} \quad q(x) \leq b, \quad \text{wobei}$$

p, q, a, b Spaltenvektoren geeigneter Dimension repräsen-
tieren.

Die Tatsache, daß hier ein Maximierungsproblem einer be-
friedigenden Lösung zugeführt wird, ist nicht von außer-
ordentlicher Tragweite. Vermöge einer simplen Multiplika-

tion mit dem Faktor (-1) können wir Zielfunktion sowie Ungleichheitsrestriktionen unseres strategischen Modellsystems in eine der Maximierungsproblematik angemessenen Form überführen.

Das System (1) kann nun in einen äquivalenten Lagrange-Ansatz der Gestalt

$$L(x, \alpha, \beta) = f(x) + \sum_{i=1}^{m_1} \alpha_i (a_i - p_i) + \sum_{j=1}^{m_2} \beta_j \cdot (b_j - q_j) \quad (2)$$

transferiert werden, wobei α und β m_1 - respektive m_2 - dimensionale Vektoren der jeweiligen Lagrange-Multiplikatoren repräsentieren. Unter Benutzung der Matrixschreibweise kann die Beziehung (2) auch in der Form

$$L := L(x, \alpha, \beta) = f + \alpha^T (a - p) + \beta^T (b - q) \quad (3)$$

dargestellt werden. Hieraus läßt sich der Gradient von L bezüglich x errechnen zu

$$\nabla L = \nabla f - \nabla p^T \alpha - \nabla q^T \beta \quad (4)$$

Wir führen nun die erforderlichen Symbole ein zum Zwecke der Entwicklung von notwendigen Bedingungen, welche x^* zu einem Kandidaten für ein lokales Maximum prädestinieren. Es gelte

$$\begin{aligned} f^* &:= f(x^*), \quad \nabla f^* := \nabla f(x^*), \text{ etc, sowie} \\ \Delta x &:= x - x^* . \end{aligned}$$

Hierbei bezeichne Δx eine betragsmäßig hinreichend kleine Änderung in x.

Dann gilt für jede aktive Ungleichheitsrestriktion an einem beschränkten Maximum x^* die folgende Reihenentwicklung:

$$q_j(x^* + \Delta x) = q_j^* + \Delta x^T \nabla q_j^* + \dots, \quad j \in S_a \quad (5),$$

wobei

$$S_a := \left\{ j / q_j^* = b_j \right\} \dots, \quad \text{set of active constraints" ...} \quad (6),$$

sowie

$$q_j(x^* + \Delta x) \leq b_j, \quad j \notin S_a \quad (7).$$

Hierbei legt die letztgenannte Ungleichung den Wertebereich der zulässigen Δx fest. Gemäß (5), (6) und (7) muß Δx mithin der Bedingung

$$\Delta x^T \nabla q_j^* \leq 0, \quad j \in S_a \quad (8)$$

genügen.

Des weiteren gilt in einer hinreichend kleinen Umgebung von x^* die Beziehung

$$p_i^* = a_i, \quad i = 1, 2 \dots m_1 \quad (9a),$$

sowie

$$p_i(x^* + \Delta x) = a_i, \quad i = 1, 2 \dots m_1 \quad (9b),$$

wobei die Gleichung (9b) eine weitere Einschränkung des zulässigen Bereichs der Δx festlegt. Eine adäquate Reihenentwicklung des Terminus $p_i(x^* + \Delta x)$ kann dargestellt werden durch

$$p_i(x^* + \Delta x) = p_i^* + \Delta x^T \nabla p_i^* + \dots \quad (10).$$

Mit Berücksichtigung von (9) resultiert hieraus unter Verzicht auf die Terme höherer Ordnung

$$\Delta x^T \nabla p_i^* = 0, \quad i = 1, 2 \dots m_1 \quad (11).$$

Diese Forderung kann in äquivalenter Weise durch nachfolgendes Ungleichungssystem zum Ausdruck gebracht werden. Es sind dies Bedingungen, welche von zulässigen Δx unbedingt erfüllt werden müssen:

$$\Delta x^T \nabla p_i^* \leq 0 \quad , \quad i = 1, 2 \dots m_1 \quad (12a)$$

$$\wedge -\Delta x^T \nabla p_i^* \leq 0 \quad , \quad i = 1, 2 \dots m_1 \quad (12b).$$

Wir interessieren uns nunmehr für die Differenz

$$f(x^* + \Delta x) - f^* = \Delta x^T \nabla f^* + \dots \quad (13).$$

f^* ist dann ex definitione ein beschränktes Maximum, wenn die Beziehung

$$f(x^* + \Delta x) - f^* \leq 0 \quad (14)$$

für alle diejenigen zulässigen Δx gilt, welche sowohl betragsmäßig hinreichend klein, als auch (7) und zugleich (9b) genügen. Wenn der Term $\Delta x^T \nabla f^*$ in (13) stringent negativ ist für alle Δx , welche (8) sowie (11) zugleich erfüllen, dann folgt die Tatsache, daß f^* ein beschränktes lokales Maximum sei, unmittelbar aus der obengenannten Definition (14). Gilt indessen

$$\Delta x^T \nabla f^* \leq 0 \quad (15)$$

für alle diejenigen Δx , welche den Forderungen (8) und zugleich (11) entsprechen, dann kann f^* möglicherweise ein beschränktes lokales Maximum darstellen. Um die Extremaleigenschaften von f^* lupenrein festlegen zu können, müßten die Terme höherer Ordnung in der Reihenentwicklung (13) einer entsprechenden Untersuchung unterzogen werden. Des weiteren ist festzuhalten, daß es auch abnorme Fälle

gibt, deren beschränkte lokale Maxima nicht (vollständig) durch die Beziehung (15) charakterisiert werden können (vgl. Pierre-Lowe 1975). -

Diese äußerst detaillierte Beschreibung der notwendigen Optimaleigenschaften (die Darlegungen bezüglich der entsprechenden hinreichenden Bedingungen entnehme man Pierre-Lowe 1975) ist kennzeichnend für die Sorgfalt, mit der Pierre-Lowe ihre Optimierungsstrategien formulieren. Zum einen ist dies natürlich der Transparenz des mathematischen Verfahrens in hohem Maße zuträglich, zum anderen wirkt eine derartige Fundiertheit vertrauensbildend, was für den praktischen Anwender eines Algorithmus ungeheuer wichtig ist, da dieser Personenkreis in aller Regel bereits wieder auf Distanz zur mathematischen Theorie gegangen ist.

Wir benutzen nun die zuvor gewonnenen Erkenntnisse zur Definition der erweiterten Lagrange-Funktion L_a . Es gelte

$$L_a := L - w_1 \cdot P_1 - w_2 \cdot P_2 - w_3 \cdot P_3 \quad (16),$$

wobei

$L \dots$ die Lagrange-Funktion des Systems (2) repräsentiere,

$w \dots$ mit $w = w_1, w_2, w_3$, eine Menge bestehend aus drei Penalty-Gewichten darstelle, wobei

$w_i > 0$, $\forall i = 1, \dots, 3$. Des weiteren ergeben

sich die Penalty-Funktionen P_i , $\forall i = 1, \dots, 3$, wie folgt:

$$P_1 := \sum_{i=1}^{m_1} (a_i - p_i)^2 \quad (17a)$$

$$P_2 := \sum_{j \in C_a} (b_j - q_j)^2, \text{ mit } C_a := \{j / \beta_j > 0\} \quad (17b)$$

und

$$P_3 := \sum_{j \in C_b} (b_j - q_j)^2, \text{ mit } C_b := \left\{ j / \beta_j = \begin{matrix} 0 \wedge q_j \geq b_j \end{matrix} \right\} \quad (17c).$$

Nimmt man einen geringen Verlust an Allgemeingültigkeit in Kauf, so könnte man

$$w_3 := w_2 \quad \text{setzen}$$

und die beiden letzten Terme des Systems (16) durch den Ausdruck

$$- w_2 \sum_{j \in C_a \cup C_b} (b_j - q_j)^2 \quad \text{substituieren.}$$

Es ist des weiteren festzuhalten, daß

$$C_a \cap C_b = \emptyset \quad \text{gilt, so daß}$$

der Term $w_3 P_3$ in (16) äquivalent ist dem Ausdruck

$$w_3 \sum_{j \in C_a} \frac{1}{2} (b_j - q_j) \left[(b_j - q_j) - |b_j - q_j| \right] .$$

Selbstverständlich stellt die erweiterte Langrange-Funktion des Systems (16) nur einen aus der Vielzahl der diesbezüglich denkbaren Ansätze dar. Pierre-Lowe ziehen diese Alternative jedoch allen anderen vor. Die Gründe hierfür sind bei den Autoren nachzulesen (vgl. Pierre-Lowe 1975).

Wir interessieren uns nunmehr für den Gradienten der Beziehung (16) bezüglich x . Es gilt

$$\begin{aligned} \nabla L_a := & \nabla f - \sum_{i=1}^{m_1} \alpha_i^+ \nabla p_i - \sum_{j \in C_a} \beta_j^+ \nabla q_j + \\ & + \sum_{j \in C_b} 2 w_3 (b_j - q_j) \nabla q_j \end{aligned} \quad (18),$$

wobei

$$\alpha_i^+ := \alpha_i - 2w_1 (a_i - p_i) \quad (19a),$$

und

$$\beta_j^+ := \beta_j - 2w_2 (b_j - q_j) \quad (19b).$$

Betrachten wir die Richtungen der Vektoren, welche die Summanden des Gradienten ∇L_a darstellen, um deren parti-kuläre Beiträge zur Gesamtrichtung einer Wertschätzung unterziehen zu können. Der erste Vektor, ∇f , zeigt in Richtung des steilsten marginalen Anstiegs bezüglich f . Die zweite vektorielle Komponente des Gradienten ∇L_a ist der für Gleichheitsrestriktionen typische Term

$$[-\alpha_i + 2 w_1 (a_i - p_i)] \nabla p_i \quad (20).$$

Wenn gilt $p_i > a_i$,

dann zeigt (20) nur dann in Richtung abnehmender $|p_i - a_i|$, wenn

$$[-\alpha_i + 2 w_1 (a_i - p_i)] < 0 \iff p_i - a_i > -\frac{\alpha_i}{2w_1}$$

erfüllt ist.

Gilt indessen $p_i < a_i$,

dann ist (20) nur dann auf abnehmende $|p_i - a_i|$ gerichtet, wenn

$$[-\alpha_i + 2 w_1 (a_i - p_i)] > 0 \iff p_i - a_i < -\frac{\alpha_i}{2w_1}$$

eine wahre Aussage ergibt.

Eine etwas strengere Bedingung ist für den dritten Summan-den des Systems (18) anzuwenden. Der Zuwachs in den aktiven Ungleichheitsrelationen $j \in C_a$ wird bekanntlich dokumentiert durch den Vektor

$$[-\beta_j + 2w_2 (b_j - q_j)] \nabla q_j \quad (21).$$

Wenn nun gilt $q_j > b_j$,

dann ist (21) stets auf abnehmende $\left| q_j - b_j \right|$ gerichtet.
da wegen (17b)

$$\beta_j > 0, \quad \forall j \in C_a \quad \text{Platz greift.}$$

Wenn andererseits $q_j < b_j$, erfüllt ist,

dann zeigt (21) nur dann in Richtung sinkender $\left| q_j - b_j \right|$,
wenn

$$\left[-\beta_j + 2w_2 (b_j - q_j) \right] > 0 \Leftrightarrow q_j - b_j < -\frac{\beta_j}{2w_2}$$

wahr ist.

Schließlich betrachten wir den Zuwachs in den verletzten
Ungleichheitsbeziehungen $j \in C_b$. Dieser Anstieg kann durch
den Vektor

$$2w_3 (b_j - q_j) \nabla q_j \quad (22)$$

beschrieben werden.

Da wegen (17c) stets $q_j - b_j > 0$ gilt, ist diese Beziehung (22) in jedem Falle auf abnehmende $\left| q_j - b_j \right|$ gerichtet.

Somit sind alle Bedingungen erläutert, die

- einen möglichst steilen Anstieg der Zielfunktion f bei
- einer denkbar effizienten Ausschöpfung des Bewegungsspielraums gewährleisten. In diesem Zusammenhange sei betont, daß die Zielsetzungen

$$\left| p_i - a_i \right| \longrightarrow 0 \quad \text{sowie} \quad \left| q_j - b_j \right| \longrightarrow 0, \quad \forall i, j,$$

selbstverständlich nicht nur eine optimale Nutzung des Restriktionsplafonds sicherzustellen wissen, sondern auch eine Überschreitung der gegebenen Handlungsmöglichkeiten zu unterbinden geeignet sind. Nachdem nun die Charakteristika des erweiterten Lagrange-Ansatzes L_a (16) hinreichend detailliert erörtert worden sind, können wir zur Beschreibung der wichtigsten Phasen des algorithmischen Procederes übergehen.

Aufgrund der Penalty-ähnlichen Terme in der Bestimmungsgleichung für L_a (16) existieren in aller Regel unbeschränkte Maxima bezüglich L_a für endliche w . Daher starten wir den Algorithmus mit festen w ($w > 0$) sowie entsprechenden Belegungen der Lagrange-Multiplikatoren α_i und β_j (i, j). Verfügt man a-priori über keine diesbezüglichen Informationen, so können diese α_i, β_j zweckmäßigerweise mit dem Wert "0" initialisiert werden.

Sodann wird vermöge der DFP-Methode ein unbeschränktes Maximum des Systems (16) generiert (vgl. hierzu auch Kapitel 3.2.4.). Das erstgefundene Lösungstupel x^1 , welches den Augmented-Lagrangian L_a maximiert, kann beschrieben werden durch die charakteristische Beziehung

$$\nabla L_a(x^1) \approx 0 \quad (23),$$

wobei x^1 in der Regel nicht allen Restriktionen genügen kann. Überdies erfordern die Optimalitätskriterien, wie geschildert, die Erfüllung der Gleichung

$$\nabla L = 0 \quad \text{und } \underline{\text{nicht}},$$

wie (23) vermuten läßt, die Gültigkeit des Zusammenhangs

$$\nabla L_a = 0.$$

Um der unabdingbaren Forderung

$$\nabla L(x^1) \approx 0 \quad \text{Genüge zu verschaffen,}$$

muß sich die zweite Phase des Algorithmus mit der Problematik befassen, die Belegungen der Lagrange'schen Multiplikatoren α_i und β_j (i, j) so zu reorganisieren, daß gilt

$$\nabla L(x^1) = \nabla L_a(x^1).$$

Wie dieses "Updating" der Multiplikatoren im einzelnen abläuft, soll im Rahmen dieses Kapitels an etwas späterer Stelle zur Sprache kommen.

Nach der Anpassung der Multiplikatoren zum Zwecke der Sicherstellung der Optimalität des ersten Lösungstupels x^1 könnte man auch eine Erhöhung der Penalty-Gewichte w_i , $i = 1, \dots, 3$, ins Auge fassen. Im Falle daß x^1 keine hinreichenden Optimalitätseigenschaften besitzt, ist eine solche Erhöhung der "Penalties" in aller Regel notwendige Voraussetzung dafür, daß der Algorithmus zulässige Lösungen generiert.

Anschließend ist der bis dato beschriebene Prozeß zu repetieren. Dies will besagen, daß der Algorithmus aus alternierenden Phasen der

- unbeschränkten Maximierung einerseits, sowie des
- Updating von Multiplikatoren und Penalty-Gewichten andererseits

komponiert ist. Während der m-ten Maximierungsphase werden Multiplikatoren sowie Penalty-Gewichte konstant gehalten und eine quadratisch-konvergente Suchprozedur initialisiert, um ein x^m zu lokalisieren, welches $L_a(x)$ maximiert, so daß gilt

$$\nabla L_a(x^m) = 0 \quad (24).$$

Weiterführende Einzelheiten hierzu finden sich an späterer Stelle sowie vor allem in Pierre-Lowe (1975', S. 199 ff.).

Aufgrund der Möglichkeit des Auftretens von Rundungsfehlern (vgl. hierzu vor allem Kap. 3.3.3.) sowie der Tatsache, daß wir es hier mit nichtlinearen Relationen zu

tun haben, kann x^m das System (24) in aller Regel lediglich approximativ realisieren. Daher muß die Terminierung der unbeschränkten Maximierungsphase an einen Katalog von pragmatischen Bedingungen geknüpft werden. Eine dieser Bedingungen lautet dann etwa wie folgt:
Es sei ϵ eine hinreichend kleine positive Zahl, so daß (24) substituiert werden kann durch die Relation

$$\nabla L_a(x^m)^T \nabla L_a(x^m) < \epsilon \quad (25).$$

Nach Beendigung der m-ten Maximierungsphase sind die Multiplikatoren so anzupassen, daß der Forderung $\nabla L(x^m) = 0$ Genüge getan wird. Demzufolge ist das Updating so durchzuführen, daß gilt:

$$\underbrace{\nabla L(x^m)}_{\text{neu}} = \underbrace{\nabla L_a(x^m)}_{\text{alt}} \approx 0 \quad (26).$$

Die Regeln zur Anpassung der Multiplikatoren, welche das System (26) sicherstellen, ergeben sich aus der direkten Gegenüberstellung von ∇L aus (4) sowie ∇L_a aus (18). Dann gelte für

- Gleichheitsbeziehungen die Fortschreibungsgleichung

$$\alpha_i^+ := \alpha_i - 2w_1 \left[a_i - p_i(x^m) \right], \quad i = 1, 2 \dots m_1 \quad (27),$$

wobei

- α_i^+ ... den neuen Wert des i-ten Multiplikators symbolisiere. Die ursprüngliche Belegung
- α_i ... geht zur Fortschreibung des Multiplikatorwerts in die rechte Seite des System (27) ein.

- Ungleichheitsbeziehungen das nachfolgende Update-Schema:

$$\beta_j^+ := \begin{cases} 0 & , \text{ für } \beta_j - 2w_2 [b_j - q_j(x^m)] \leq 0 \\ b_j - 2w_2 [b_j - q_j(x^m)] & , \text{ sonst} \end{cases} \quad \text{mit } j \in C_a \quad (28),$$

sowie

$$\beta_j^+ := \begin{cases} 0 & , \text{ sonst} \\ -2w_3 [b_j - q_j(x^m)] & , \text{ sonst} \end{cases} \quad \text{mit } j \in C_b \quad (29),$$

wobei β_j^+ ... in analoger Weise den neuen Wert des j-ten Multiplikators darstelle. Die Werte der w_i , $i = 1, \dots, 3$, die in (27) bis (29) aufscheinen, sind entsprechende Parameterbelegungen, die der vorangehenden Maximierungsphase entstammen. Des weiteren sei erwähnt, daß nach der Generation neuer β_j natürlich auch die Indexmengen C_a sowie C_b dem neuesten Stand der Dinge angepaßt werden müssen, um im Rahmen der nächsten Maximierungsphase auf entsprechend aktuelle Informationen recurrieren zu können. In diesem Zusammenhange halten wir nachfolgende Überlegung für äußerst illustrativ:

Man kann sagen, daß die Gleichungen (28) und (29) während einer Phase der unbeschränkten Maximierung den Status der Ungleichheitsrelationen mehr oder weniger vollständig beschreiben. Solche Ungleichungen, die im Rahmen der gesamten ersten Phase des algorithmischen Procederes einen positiven Multiplikator besitzen, befinden sich in einem angespannten (aktiven) Zustand ("locked-on status") und werden analog den Gleichheitsrelationen behandelt. Diejenigen Ungleichungen, welche über Multiplikatoren vom Werte "0" verfügen, sind einer übermäßigen Verletzung der durch sie

gesetzten Plafonds unzugänglich. Dies kann, in Analogie zu Penalty-Funktion-Algorithmen, durch die Wirkungsweise des mit w_3 multiplikativ verknüpften, externen Penalty-Term P_3 realisiert werden. Erst nach Beendigung der betrachteten Maximierungsphase werden die Multiplikatoren der Gleichheitsrelationen kraft (27), sowie diejenigen der Ungleichheitsrestriktionen vermöge (28) und (29) fortgeschrieben, um den aktuellen Status der Nebenbedingungsschemas festzulegen, wie er für die nachfolgende Maximierungsphase gelten soll.

Wenn ein Multiplikator β_j der zuvor erzeugten Variablenbasis zu negativen Werten tendiert (vgl. (28)), so will dies besagen, daß sich der Zielfunktionswert dann tendentiell erhöht, wenn sich das Lösungstupel x vom entsprechenden Plafond b_j der betrachteten Restriktion j entfernen darf. Die Folge ist natürlich eine Zunahme der Differenz $b_j - q_j(x)$, so daß die Restriktion j vom angespannten Zustand in einen freien Status überführt wird. Freie Nebenbedingungen sind im Rahmen der Update-Phase immer dann in den angespannten Status zu versetzen, wenn sie sich am Ende der vorangehenden Maximierungsphase als verletzt entpuppen. Gilt also für ein beliebiges j die Aussage

$$b_j - q_j(x) \leq 0, \text{ dann}$$

erhält der korrespondierende Multiplikator β_j gemäß (29) einen positiven Wert. Die Restriktion j bleibt nun während der Gesamtdauer der nächsten Maximierungsphase im "locked-on-status".

Wenden wir nun unsere Aufmerksamkeit den Penalty-Parametern w_i , $i = 1, \dots, 3$, zu. Es ist für eine überwiegende

Mehrzahl von Problemstellungen empfehlenswert, die Gewichte lediglich zu initialisieren und im Zuge des gesamten algorithmischen Prozederes konstant zu halten. Weil es sich bei den Termen, die der Lagrange-Funktion L hinzugefügt werden, um L_a zu generieren, um Penalty-Funktionen handelt, ist es wohl verständlich, in diesem Zusammenhang zu einem gewissen Grade auch auf Prozeduren zu recurreren, die insbesondere im Rahmen der Penalty-Funktions-Verfahren ihren festen Platz haben. Demzufolge initialisiert man die Parameter w_i ($\forall i$) mit relativ kleinen positiven Werten und schreibt sie erst nach dem Updating der Multiplikatoren fort vermöge der Multiplikation mit einem (ganzzahligen) Faktor γ , wobei $\gamma \geq 1$. Diese Prozedur ist solange fortzusetzen, bis (vom Benutzer des Algorithmus) vorgegebene obere Grenzen $w_i^{\max}$ erreicht sind. Die Regel zum Update der Penalty-Gewichte kann mithin wie folgt zusammengefaßt werden:

$$w_i^+ = \begin{cases} w_i^{\max} & , \text{ für } \gamma \cdot w_i \geq w_i^{\max} \\ \gamma \cdot w_i & , \text{ sonst} \end{cases} \quad \gamma \geq 1 \text{ und ganzzahlig} \quad i = 1, 2, 3 \quad (30),$$

wobei w_i^+ ... den neuen Wert des Penalty-Parameters w_i darstelle.

Wir halten es für äußerst wichtig, festzuhalten, daß die Initialwerte der w_i hinreichend groß sein müssen, um einen Restriktions-Durchbruch zu vermeiden. Man spricht dann von einem Restriktions-Durchbruch, wenn die unbeschränkte Maximierung der erweiterten Lagrange-Funktion L_a eine Folge von Lösungstupeln x generiert mit der Eigenschaft, daß $f(x)$ schneller steigt als die Terme $(-w_i p_i)$ abnehmen können, was zu einer uneingeschränkten und überdies unzulässigen Lösung führt. -

Nach Beendigung der Fortschreibung von Multiplikatoren und Penalty-Gewichten kann nunmehr mit der Suche nach einem weiteren (lokalen) Maximum der Funktion L_a fortgefahren werden. Diese Suche wird im Rahmen der ersten Optimierungsphase stets in Richtung des Gradienten $\nabla L_a(x^m)$ bezüglich x^m geführt:

$$\nabla L_a(x^m) \bigg|_{(\alpha, \beta, w) = (\alpha^+, \beta^+, w^+)} = \left[2w_1 \sum_{i=1}^{m_1} (a_i - p_i) \nabla p_i + \right. \\ \left. + 2w_2 \sum_{j \in C_a} (b_j - q_j) q_j \right]_{x = x^m} \quad (31).$$

Zur Bewegungsrichtung des Systems (31) ist anzumerken, daß sie die n -Tupel x tendentiell in Richtung der Plafonds der aktiven Nebenbedingungen drängt. Im allgemeinen erfreuen sich die korrespondierenden Restriktionen am Ende der nun folgenden Optimierungsphase einer weitaus effizienteren Ausschöpfung.

Abschließend kann festgehalten werden, daß der hier präsentierte Algorithmus das beschränkte Maximum einer Funktion $f(x)$ nach einer endlichen Zahl von Iterationsschritten generiert. Man kann sogar sagen, daß das Verfahren über ausgesprochen lobenswerte Konvergenzeigenschaften verfügt. -

Wir fassen unter Bezugnahme auf den Programmablaufplan der Abb. 13 zusammen.

Der hier betrachtete Augmented-Lagrangian-Algorithmus löst ein beschränktes Maximierungsproblem vermöge einer heuristisch erzeugten Abfolge von Phasen unbeschränkter

Maximierungsprozesse:

1. Nach vollzogener Initialisierung allgemeiner Ablaufparameter, der Multiplikatoren, der Penalty-Parameter, der Konvergenzkriterien sowie abgeschlossener Festlegung der Funktionswerte der Startlösung (es kann auf $x_{\text{Start}} = (0, \dots, 0)$ recurriert werden, vgl. Kapitel 3.2.4.) durchläuft der Algorithmus die nachfolgenden, echt iterativen Phasen:
2. Aus den zum gegenwärtigen Iterationsschritt k verfügbaren Informationen ist die Bewegungsrichtung r^k bezüglich des momentan realisierten Lösungstupels x^k ("Search-Point") zu generieren.
3. Es ist ein Lösungspunkt $(x^k + \rho \cdot r^k)$ zu ermitteln ($\rho \in \mathbb{R}$), der das lokale Maximum der erweiterten Lagrange-Funktion in r^k -Richtung bezüglich x^k darstellt ("Unidirectional Search"). In diesem Punkte nimmt die Stepsize ρ mithin ihren optimalen Wert ρ_s an:

$$L_a(x^k + \rho_s \cdot r^k) \approx \max_{\rho} L_a(x^k + \rho \cdot r^k).$$

Zu diesem Zwecke bedient man sich einer Abfolge lokaler quadratischer Approximationen der erweiterten Lagrange-Funktion, die gegen einen optimalen Wert $(L_a^*)_{\text{appr.}} = (L_a^*(\rho_s))_{\text{appr.}} = (L_a(\rho_s))_{\text{appr.}}$ konvergiert ("quadratic-convergent-search"). Weitere Einzelheiten hierzu bitten wir Pierre-Lowe (1975) zu entnehmen.

4. Gemäß der Beziehung

$$x^{k+1} := x^k + \rho_s \cdot r^k$$

ist nun das neue aktuelle Lösungstupel x^{k+1} zu berechnen. Des weiteren ist der Systemstatus bezüglich des

neuen Optimalpunktes fortzuschreiben (Funktions- und Gradientenevaluierungen etc.).

5. Es ist zu prüfen, ob die Bedingungen erfüllt sind, welche die Anpassung der Multiplikatoren, der Penalty-Gewichte und anderer algorithmischer Parameter veranlassen. Wenn ja, ist das Update-Procedere durchzuführen.
6. Jeder Update-Phase muß ein Konvergenztest folgen. Des weiteren ist in jedem Falle (egal ob ein Updating erfolgt oder nicht) zu untersuchen, ob die Voraussetzungen zur Terminierung des Prozesses gegeben sind. Wenn ja, ist der abschließende Systemstatus mit allen relevanten Informationen an ein Ausgabenmedium zu transferieren.
7. Wenn nein, sind alle Schritte außer Step 1. bezüglich des aktuellen "search-point" x^{k+1} , beginnend mit Step 2 zu repetieren. -

Im Anhang zu dieser Studie finden sich die vollständigen Source-Listings des oben erläuterten algorithmischen Prozesses in APL sowie Fortran-V. Der allgemeine Teil dieser Codes besteht aus jeweils 11 "Subroutines", die für alle Optimierungsprobleme gleichermaßen Gültigkeit besitzen und invariant sind. Nur die drei verbleibenden Unterprogramme (Steuerprogramm, Funktions- und Gradientenevaluierungen) erfordern von einer Problemstellung zur anderen entsprechende Modifikationen, da sie die analytischen Grundmerkmale der jeweiligen Optimierungsaufgabe sowie spezielle Informationen bereitstellen, welche den organisationstechnischen Ablauf des algorithmischen Procederes betreffen.

3.3.2. Die Erstellung einer APL-Version des Pierre-Lowe'schen Verfahrens

In diesem Zusammenhange wollen wir uns zunächst ganz allgemein mit den spezifischen Vor- und Nachteilen der Codierung in der Programmiersprache APL (= A Programming Language) auseinandersetzen, welche nach unserem Dafürhalten in der wissenschaftlichen und auch betrieblichen Praxis eine zu geringe, ihrer Effizienz unangemessene Verbreitung gefunden hat.

Sodann ist eine APL-Version des Augmented-Lagrangian nach Pierre-Lowe vorzustellen, die wir vollständig in eigener Regie erstellt haben. Dieser APL-Code ist auf Herz und Nieren zu prüfen bezüglich seiner Wirksamkeit im Zuge der Lösung gering- wie auch großvolumiger Problemstellungen. Hierbei sind auch Spezifika der von uns verwendeten Hardware-Konfigurationen mit in diesbezügliche Betrachtungen zu involvieren.

Zuletzt wollen wir uns mit adäquaten Maßnahmen zur Erhöhung des Leistungsvermögens dieser APL-Fassung beschäftigen. Diese Erörterungen sollen sich ausschließlich auf praktische und daher großdimensionierte Aufgabenstellungen beziehen, welche ohne Berücksichtigung von Nichtnegativitätsrestriktionen für einzelne Infrastrukturkonzeptionen einer satisfizierenden Lösung zuzuführen sind. In diesem Rahmen verdient vor allem eine Konzeption unsere besondere Beachtung, welche zu jedem Iterationsschritt angemessene, weil feiner skalierte Werte der Penalty-Weights zur Verfügung stellt (vgl. hierzu die diesbezüglichen Ausführungen in Kapitel 3.3.1.).

3.3.2.1. Chancen und Risiken einer "intelligenten Programmierung" in APL

Wie bereits im Rahmen der Erläuterungen des Kapitels 3.2.4. angesprochen, haben Pierre-Lowe ihren Augmented-Lagrangian-Algorithmus mit vollständigen Fortran-Source-Listings (Fortran VS. IV) veröffentlicht (vgl. Pierre-Lowe 1975). Es erhebt sich nunmehr die Frage, weswegen sehr viel Zeit und nicht unerheblich viel Geld investiert wurde, um eigens eine APL-Version dieser nichtlinearen Auswertungsprozedur anzufertigen.

Zunächst kann hierfür ein rein formaler Grund angegeben werden. Aus betriebsinternen Gründen organisationstechnischer Art wurde die Sprache APL ausschließlich für solche EDV-Aufgaben reserviert, wie sie etwa dieser Studie zugrundeliegen. Hieraus ergibt sich umgekehrt für uns der Zwang, unsere Anwendungen samt und sonders in APL zu programmieren. Es muß jedoch eingeräumt werden, daß die seitens des Rechenzentrums verfügte Festlegung dezentraler EDV-Aktivitäten auf diese eine Programmiersprache keineswegs aus der Luft gegriffen ist, sondern durch "harte Fakten" begründet werden kann.

APL ist eine primär dialogorientierte Sprache, welche gegenüber vergleichbaren Programmiercodes, wie etwa Fortran oder PL1, eine Reihe von Vorteilen zu bieten hat. Diese bestehen vorwiegend in der ungewöhnlich komfortablen und zeitsparenden Handhabung von Matrizen. Das Einlesen von Werten in sowie das Herauslesen bestimmter oder auch aller Elemente aus einer Matrix gehen unter Verwendung nur sehr weniger Programm-Statements von der Hand. Gleiches gilt selbstverständlich auch für die Gesamtheit der ein-

schlägigen Matrixoperationen. Darüber hinaus verfügt APL über ein wirksames Instrumentarium des bedingten Vollzugs arithmetischer oder auch logischer Operationen. Unter anderem aufgrund dieser Tatsachen läßt sich dann auch erklären, warum APL-Programme mit einem Minimum an Programm Schleifen und zugehörigen Labels (Ansprungsmarken) über die Runden kommen können.

Des weiteren wäre zu ergänzen, daß APL eine problemorientierte Programmiersprache ist, welche zur Umsetzung der Prinzipien des "Structured Programming" geradezu prädestiniert ist. Dies will heißen, daß häufig wiederkehrende, weitgehend in sich abgeschlossene Programmschritte (wie etwa die Evaluierung der Gradienten in vorstehendem Algorithmus) in dieser Sprache noch problemloser und effizienter als eigenständige Unterprogramme deklariert und aus übergeordneten Prozeßroutinen ausgelagert werden können, als dies etwa in Fortran der Fall ist. So können wir beispielsweise auf langatmige und wohlgeordnete Parameterübergabelisten weitgehendst verzichten. Dies trägt in nicht unerheblichem Maße der Forderung nach verbesserter Übersichtlichkeit und Klarheit des logischen Systemablaufs Rechnung.

Aufgrund der Tatsache, daß APL im wesentlichen auf den Dialogbetrieb zugeschnitten ist, fällt die Erstellung effizienter, besonders benutzerfreundlicher Input- und Outputprogramme (etwa die manuelle Dateneingabe über eine Hierarchie von Bildschirmmasken) ganz besonders leicht. In diesem Zusammenhange sei jedoch auf die Ausführungen des Kapitels 4.2. verwiesen.

Eben aus dieser Dialogorientiertheit ergibt sich jedoch

das einzigste Risiko, das eine Programmierung des Pierre-Lowe'schen Verfahrens in APL mit sich bringen könnte. Besonders im Zuge der Lösung großvolumiger Problemstellungen könnte sich die maximale, für Dialoganwendungen verfügbare Kernspeicherkapazität von 2,5 Megabyte als nicht ausreichend erweisen. Es sei jedoch betont, daß es sich hierbei um keinen spezifischen Nachteil der Programmiersprache APL, sondern eher um ein organisationstechnisches Ärgernis der unzureichenden Zuteilung von Speicherkapazitäten an dezentrale Dialoganwender handelt. In den genannten Fällen wäre mithin ein Ausweichen auf speichermäßig unlimitierte Stapelverarbeitungen notwendig, welche ihrerseits wiederum ausschließlich in Fortran gefahren werden können. Da uns diesbezüglich seitens des Rechenzentrums keine Steine in den Weg gelegt werden, würde es sich empfehlen, in diesem Zusammenhange auf die Pierre-Lowe'schen Fortran-Source-Listings zu recurrieren. Mithin bedarf es lediglich noch einer Klärung der Frage, ob der Rückgriff auf ein Batch-Processing nicht etwa in eklatantem Widerspruch steht zum Ziel einer möglichst hohen Benutzerfreundlichkeit unseres Modellsystems. Wenn man die strategische Dimension der hier zu bewältigenden Aufgabenstellung in die Waagschale wirft, muß man zu der Schlußfolgerung gelangen, daß es eigentlich unerheblich ist, ob man über entsprechende Modellauswertungen fast unmittelbar nach dem Systemstart (Dialogbetrieb) oder aber erst am nächsten Tage (Stapelbetrieb) verfügen kann (vgl. hierzu insbesondere Kapitel 3.3.3.3.).

Trotzdem wollen wir in Würdigung der obengenannten Vorteile einer Programmierung in APL darauf hinweisen, daß die APL-Version, nicht zuletzt wegen des Bonus einer effektiven Matrizenverarbeitung, im Durchschnitt über alle von

uns gestellten Testprobleme in weniger als der Hälfte der Zeit mit befriedigenden Lösungen entsprechender Problemstellungen aufwarten konnte, als dies ein äquivalentes Fortran-V-Konzept vermochte. In diesem Zusammenhange sei auch erwähnt, daß wir die von Pierre-Lowe vorgelegten Fortran-Listings einigen, mehr oder weniger tiefgreifenden Modifikationen unterzogen haben, von denen selbstverständlich auch die Effizienz der APL-Version in entscheidendem Maße profitiert hat. Hierzu jedoch mehr im Rahmen diesbezüglicher Ausführungen des Kapitels 3.3.3.1.

3.3.2.2. Darlegung der Effizienz der APL-Version des Pierre-Lowe'schen Algorithmus anhand auserwählter Testbeispiele

Wir beschäftigen uns also nachfolgend mit den wichtigsten Auswertungen und Ergebnissen, die im Zuge des Austestens unserer APL-Auswertungsroutinen angefallen sind. Die nachstehende Übersicht der Abb. 13 vermittele einen ersten, aber umfassenden Eindruck vom weiten Spektrum der von uns im Verlaufe der Testphase angestellten Versuchsreihen.

Hierbei sind die ersten sechs Testbeispiele in die Kategorie geringvolumiger Problemstellungen einzuordnen. Entsprechende Ergebnisse sind also im ersten Abschnitte dieses Kapitels zu diskutieren. Die verbleibenden zwei Anwendungsfälle können zur Species der Large-scale-problems gezählt werden. Aufgrund der Bedeutung diesbezüglicher Auswertungen für die Implementierfähigkeit unseres strategischen Modellsystems der Fertigungs- und Investitionsprogrammplanung soll den entsprechenden Betrachtungen ein eigener Abschnitt gewidmet sein.

3.3.2.2.1 Testergebnisse bei geringen Problemumfängen

Welche Schlüsse hinsichtlich der Schnelligkeit sowie, allgemein gesprochen, der Effizienz der hier zum Einsatz gekommenen APL-Auswertungsroutinen lassen sich nun ziehen aus der Reihe der ersten sechs, in Abb. 14 aufgeführten Testbeispiele?

Zum Zwecke der Lancierung diesbezüglicher Aussagen seien zunächst die nachfolgenden Kennziffern definiert, welche auch in der Abb. 14 entsprechende Verwendung finden:

$\frac{ET}{IT}$... sei erklärt zur "Execution Time" (ET; reine Verarbeitungszeit ohne I/O-Zeiten in CPU-Min) pro Iterationsschritt (IT), gemessen in CPU-Min .

$\frac{AFE}{IT}$... symbolisiere die Anzahl der Evaluierungen der "performance-index" (AFE) pro Iterationsschritt.

Dann muß

$$\frac{ET}{AFE} : = \frac{\frac{ET}{IT}}{\frac{AFE}{IT}}$$

... zwangsläufig die zur Durchführung einer Funktions-evaluierung erforderliche CPU-Zeit in CPU-Min darstellen.

Des weiteren definieren wir den Quotienten

$\frac{IT}{N}$... zur Anzahl der pro Veränderlicher i ($i = 1, \dots N$) zu initialisierenden Iterationsschritte (IT).

Betrachtet man erst einmal die zur Abwicklung der Testbeispiele eins bis sechs aufzuwendenden CPU-Zeiten, so sticht

natürlich primär ins Auge, daß diese "Execution Times" geradezu vernachlässigbar klein sind. Dieses Resultat hat uns auch zu der mittlerweile verifizierten Hoffnung Anlaß gegeben, daß auch Large-Scale-Problems in vergleichsweise angemessenen Zeitspannen einer satisfizierenden Lösung zugeführt werden könnten. Unterzieht man sich der Mühe einer etwas differenzierteren Begutachtung der hier erzielten sechs Rechenzeiten, so lassen sich die nachfolgenden Feststellungen treffen:

1. Bei einer Erhöhung der Anzahl zu belegender Variablen ist ebenso wie im Falle einer Steigerung der zum Ansatz kommenden Restriktionen mit entsprechend wachsenden Verarbeitungszeiten zu rechnen. Wir wollen es zunächst bei dieser per se trivialen Aussage belassen, da es in entscheidendem Maße auf Struktur und Komplexität der hier vorliegenden Problemstellungen ankommt,
 - ob die CPU-Zeiten im gleichen, über- oder auch unterproportionalen Verhältnis zu den Problemumfängen ansteigen und
 - ob eine Vergrößerung des Variablenspektrums bezüglich emporschnellender Rechenzeiten einen stärkeren Einfluß ausübt als dies eine Aufblähung des Restriktionssystems vermag.
2. Läßt man die in Kapitel 3.3.1. skizzierte Funktionsweise des Augmented-Lagrangian nach Pierre-Lowe noch einmal Revue passieren, so kommt man wohl zu dem Schluß, daß eine zusätzliche Nebenbedingung in aller Regel mehr Verdruß bereitet als eine zusätzliche Variable, vorausgesetzt, es handelt sich um eine nichtredundante Restriktion mit stringentem Plafond. Hierunter subsumieren wir entweder eine Gleichheitsrelation, oder aber eine Ungleichung, deren Präsenz sich negativ auf die Realisation desjenigen Optimums auswirkt, welches ohne

deren endogene Berücksichtigung erzielbar wäre:

Der Algorithmus hat die neu hinzutretende Restriktion in Abstimmung mit

- allen übrigen Nebenbedingungen sowie
- den aktuellen Belegungen des Variablenspektrums "einzurütteln", d.h. weder zu übertreten, noch in höchst ineffizienter Weise "brach" liegen zu lassen.

Man bedenke in diesem Zusammenhange, daß vermöge quadratischer Penalty-Funktionen eine mangelnde Ausschöpfung des Restriktionssystems in analoger Weise "bestraft" wird wie dessen Mißachtung. Darüber hinaus ist ein zusätzlicher Optimalwert für den korrespondierenden Lagrange'schen Multiplikator der Zusatzrestriktion zu ermitteln. Selbstverständlich ist auch mit einer Zunahme der Funktions- und Gradientenevaluierungen zu rechnen.

Trotzdem kann durchaus der Fall eintreten, daß die Einführung einer weiteren Veränderlichen schwieriger handhabbar ist als die Hinzufügung einer weiteren Restriktion zu einem gegebenen Problem. Dies hängt davon ab, wie schwerwiegend das herrschende Belegungsgleichgewicht in wievielen Nebenbedingungen hiervon tangiert wird. Sieht man einmal von einer erheblichen Verkomplizierung der Funktions- und Gradientenberechnungen ab, so ist die Wertzuweisung an eine neu hinzutretende Variable insbesondere dann mit vergleichsweise stark anwachsenden Rechenzeiten zu begleichen, wenn die Einführung dieser Veränderlichen

- ursprünglich bestehende separable Strukturen zerstört (Erzeugung eines Produktes von Variablen) oder aber
- den maximalen Polynomgrad der Problemstellung erhöht (der Exponent der Zusatzvariablen ist größer

als der höchste, bisher realisierte Exponent einer beliebigen Veränderlichen). Vom Auftreten nicht-polynomialer Größen sei wegen deren Irrelevanz für den Aufgabenbereich dieser Studie ausdrücklich abstrahiert.

Obwohl ein direkter Vergleich der Rechenzeiten zweier völlig verschiedener Problemstellungen aus den genannten Gründen eigentlich unangemessen ist (unterschiedliche Strukturierung der Zielfunktion und Stringenz der Restriktionssysteme), seien in diesem Zusammenhange die folgenden Hinweise erlaubt:

- Die Testbeispiele zwei und drei verfügen exakt über den gleichen Problemumfang, welcher sich bekanntlich zum Produkt aus der Maximalzahl zu belegender Variablen und der Anzahl modellendogen berücksichtigter Restriktionen errechnet ($4 \cdot 3 = 3 \cdot 4 = 12$). Hieraus könnte man den unvorsichtigen, weil hier zufällig bestätigten Schluß ziehen, daß zur Lösung beider Problemstellungen in etwa dieselbe CPU-Zeit aufzuwenden wäre (0,023 gegenüber 0,022 CPU-Min). De facto stimmen beide Verarbeitungszeiten nur deswegen hinreichend gut überein, weil der Vorteil weniger harter Nebenbedingungen, welchen Beispiel Nr. 3 gegenüber Problemstellung Nr. 2 verbuchen kann, im Falle des erstgenannten Testproblems durch die Existenz einer nichttrennbaren Zielfunktion fast vollends aufgezehrt wird. Eine solche unliebsame Erscheinung ist geeignet, sowohl die Funktions- und Gradientenberechnungen rein formell zu erschweren, als auch zusätzliche Interdependenzen im Variablenspektrum zu erzeugen, die ihrerseits entsprechend restriktionskonforme Belegungsvorgänge komplexer gestalten. Es sei an dieser Stelle betont, daß das Phänomen nicht-separabler

Problemfunktionen im Rahmen dieser Studie mehr als nur von prophylaktischem Interesse ist. Wenn man sich die Struktur der Zielfunktion unserer erweiterten Modellversion ins Gedächtnis zurückruft, wird man feststellen, daß die Infrastrukturkonzeptionen dAH_{j3} und dAH_{j6} in linear-multiplikativen Verknüpfungen auftreten. Zu diesem Zwecke entnehmen wir der besagten Erklärungshypothese den Ausdruck

$$A := \left[-b_{jt} (AH_{jo} + dAH_{j3} + \frac{t-3}{3} dAH_{j6})^2 + (1 - a_{jt} + b_{jt}) (AH_{jo} + dAH_{j3} + \frac{t-3}{3} dAH_{j6}) + a_{jt} \right]$$

und unterwerfen ihn den nachfolgenden äquivalenten Transformationen.

Mit $(1 - a_{jt} + b_{jt}) := e_{jt}$ gilt:

$$\begin{aligned} A = & -b_{jt} (AH_{jo}^2 + 2 AH_{jo} dAH_{j3} + 2 AH_{jo} \frac{t-3}{3} dAH_{j6} + dAH_{j3}^2 + \\ & + \frac{2(t-3)}{3} dAH_{j3} dAH_{j6} + \frac{(t-3)^2}{9} dAH_{j6}^2) + e_{jt} AH_{jo} + e_{jt} dAH_{j3} \\ & + e_{jt} \frac{t-3}{3} dAH_{j6} + a_{jt} = (a_{jt} - b_{jt} AH_{jo}^2 + e_{jt} AH_{jo}) + \\ & + (-2 b_{jt} AH_{jo} + e_{jt}) dAH_{j3} + (\frac{-2t+6}{3} b_{jt} AH_{jo} + \frac{t-3}{3} e_{jt}) \\ & dAH_{j6} + \left[\frac{-2t+6}{3} b_{jt} dAH_{j3} dAH_{j6} \right] - b_{jt} dAH_{j3}^2 - \\ & - \frac{(t-3)^2}{9} b_{jt} dAH_{j6}^2 \end{aligned}$$

Der oben umrandete Terminus gibt nun deutlich den nicht-separablen Bestandteil der Zielfunktion unseres erweiterten strategischen Modellsystems wieder.

In Kenntnis dieser Tatsache erscheint es geboten, den Einfluß solcher Strukturmerkmale auf Schnelligkeit und globale Effizienz unserer APL-Auswertungsprogramme besonders im Rahmen der Lösung von großvolumigen Problemstellungen der für uns relevanten Dimension zu erforschen. Hierzu jedoch mehr im nächsten Abschnitt sowie im Zuge der Erläuterungen des Kapitels 3.3.3.3. -

- Bei einem Vergleich der CPU-Zeiten, welche auf der IBM 3081/D zur Lösung der Testbeispiele Nr. 3 sowie Nr. 4 angefallen sind, würde ein unvoreingenommener Betrachter wieder zur These neigen, daß die Verarbeitungszeiten in einem etwa identischen oder auch, wegen des Vorliegens nichtlinearer Problemstrukturen, leicht überproportionalen Verhältnis zur Steigerungsrate der entsprechenden Problemumfänge

$$\left(\frac{(7-3) \cdot 4}{3 \cdot 4} \cdot 100 = 133,33 \text{ [\%]} \right) \text{ anzuwachsen}$$

hätten. De facto beträgt die Zuwachsrate der Rechenzeiten jedoch ansehnliche

$$\frac{0,114 - 0,022}{0,022} \cdot 100 = 418,18 \text{ [\%]} .$$

Dies kann hier konkret darauf zurückgeführt werden, daß sich die höchsten Potenzen der in den Testproblemen drei und vier jeweils zu berücksichtigenden Problemfunktionen um ganze 4 Punkte unterscheiden. Triivialerweise ist die Berechnung von Funktionen 6. Grades (Beispiel Nr. 4) erheblich komplexer und somit zeitaufwendiger als die Handhabung quadratischer Polynome (Beispiel Nr. 3).

3. Im obigen Zusammenhang sei an dieser Stelle betont, daß wir in Übereinstimmung mit der Auffassung von Pierre-

Lowe der Meinung sind, daß die Anzahl durchgeführter Funktionsevaluierungen ein weitaus effizienterer Maßstab des quantitativen Vergleichs heterogener Testprobleme ist, als dies die zur EDV-mäßigen Bewältigung jener Probleme aufzuwendende Verarbeitungszeit CPU-Min allein sein kann. Hieraus kann abgeleitet werden, daß die Kennziffer $\frac{ET}{AFE}$ ein aussagefähiges Instrumentarium zur Beurteilung der "Performance" eines algorithmischen Lösungsverfahrens darstellt. Es gibt uns in hinreichender Weise Aufschluß darüber, wie der Algorithmus die verfügbare Zeit effektiv nutzt. Verfolgen wir die Werte dieser Kenngröße über die vorliegenden sechs Demonstrationsbeispiele, so stellen wir fest, daß diese in Abhängigkeit von den zugrundeliegenden, aufsteigend sortierten Problemumfängen betrachtet, lediglich eine degressiv zunehmende Folge bilden. Abstrahiert man einmal von problemspezifischen, strukturell bedingten Erleichterungen bzw. Erschwernissen der Lösungsfindung, um überhaupt zu einer tendenziellen Effizienzbetrachtung vorzustoßen, so kann behauptet werden, daß die Problemdimension sowohl mit der erforderlichen Rechenzeit, als auch mit der Anzahl der insgesamt bis zur Konvergenz durchzuführenden Funktionsbewertungen positiv korreliert. Des weiteren kann als gesichert gelten, daß, unter der Annahme steigender Problemumfänge, die Anzahl der pro Zeiteinheit initiiierbaren Berechnungen der Problemfunktionen aufgrund deren zunehmender Komplexität sinken muß. Umgekehrt hat dies zur Folge, daß die zur Durchführung einer Funktionsevaluierung aufzuwendende CPU-Zeit mit wachsender Problemdimension steigt. Wie schnell dies geschieht, ist von der Effizienz der zugrundeliegenden Auswertungsroutine abhängig. Wir sind der Meinung, daß eine entsprechende degressive Zunahme

der solcherart normierten Verarbeitungszeiten Zeugnis von einer ausgesprochen hohen Wirksamkeit ablegt. Somit können die diesbezüglichen Ausführungen des Kapitels 3.2.4. als empirisch untermauert gelten.

4. Eine weitere Möglichkeit zur Normierung der "Execution Times" besteht in der Bezugnahme dieser zeitlichen Größe auf die Gesamtanzahl IT der durchgeführten Iterationsschritte. Die Kenngröße $\frac{ET}{IT}$ ist jedoch ein weit- aus größeres Maß für die Beurteilung der Wirksamkeit der hier zur Debatte stehenden Auswertungsroutinen und demzufolge nur beschränkt aussagefähig. Betrachten wir die Folge der $\frac{ET}{IT}$ -Werte für unsere sechs geringvolumi- gen Testfälle wieder in Abhängigkeit vom Umfang der jeweils zuordenbaren Problemstellung, so ergibt sich trotz des Verzichtes auf die in der konkurrierenden Maßgröße $\frac{ET}{AFE}$ zusätzlich enthaltene Information $\frac{AFE}{IT}$ $\frac{ET}{AFE} \cdot \frac{AFE}{IT} = \frac{ET}{IT}$ wieder ein degressiv zunehmender, der entsprechenden Wertefolge $\frac{ET}{AFE}$ ähnelter Verlauf. Wir führen dies darauf zurück, daß die $\frac{AFE}{IT}$ nicht sehr stark um ihren Mittelwert 2,313 streuen:

$$\sigma_{\frac{AFE}{IT}}^2 = 0,2927. \text{ In diesem Zusammenhange sei darauf}$$

hingewiesen, daß Pierre-Lowe im Rahmen ihrer ausgedehnten Testreihen in etwa vergleichbare Lageparameter ermitteln haben. Dies ist insoweit eine ausgesprochen interessante Feststellung, als die hier vorliegenden Testbeispiele lediglich einen Ausschnitt des Pierre-Lowe'schen Versuchsspektrums bilden. Wir erachten ausschließ- lich die Anwendungsfälle T 10 bis T 12 sowie T 14 bis T 16 als für unsere Zwecksetzungen relevant (vgl. Pierre-Lowe 1975) und für die Ermittlung geeigneter Ef- fizienzkennziffern empfehlenswert.

5. Abschließend kommen wir zu einer Kenngröße, welche zwar für die isolierte Lancierung von Wirksamkeitsaussagen völlig ungeeignet ist, aber doch zum Zwecke der Wertschätzung der Komplexität der jeweils zugrundeliegenden Problemstellungen außerordentlich hilfreiche Dienste leisten kann. Es handelt sich hierbei um die Maßgröße $\frac{IT}{N}$, welche die Testbeispiele Nr. 1, Nr. 2 sowie Nr. 6 völlig zu Recht mit den höchsten diesbezüglichen Werten versieht (zur mathematischen Struktur der Beispielfälle vgl. Pierre-Lowe, 1975, Abschnitt 6). Wenn man es versteht, die Folgenwerte der $\frac{ET}{AFE}$ sowie der $\frac{IT}{N}$ einer gedanklichen Synopsis zu unterwerfen, so kann es gelingen, die von der problemspezifischen Heterogenität gekennzeichneten und deswegen nur tendentiell aussagekräftigen Effizienzmaße $\frac{ET}{AFE}$ vermöge der Zusatzinformationen aus dem $\frac{IT}{N}$ -Wertekomplex um besagte strukturelle Interdependenzen zu bereinigen. Auf diese Weise gelangt man zu einer subjektiven Gewichtung der pro Funktionsevaluation aufgewendeten Rechenzeit, welche dem mathematischen Schwierigkeitsgrad der jeweils betrachteten Problemstellung Rechnung trägt. So wäre beispielsweise der $\frac{ET}{AFE}$ -Wert des Beispiels Nr. 5 ($2,57 \cdot 10^{-3}$) gegenüber dem entsprechenden Ergebnis für Beispiel Nr. 4 ($1,97 \cdot 10^{-3}$) aufgrund der (relativ) größeren Komplexität der mathematischen Strukturen ($3,7 > 3,14$) in angemessener Weise abzuwerten, d.h. im Niveau abzusenken. Selbstverständlich ist auch die reziproke Vorgehensweise denkbar und sinnvoll. -

Läßt man die Erörterungen dieses Abschnitts noch einmal Revue passieren, so kann vorbehaltlos bestätigt werden, daß die APL-Version des Augmented-Lagrangian nach Pierre-Lowe ein ausgesprochen effizientes und auch re-

liables Verfahren der nichtlinearen Optimierung repräsentiert, zumindest was die Bewältigung geringvolumiger Problemstellungen anbetrifft. Dies gilt umso mehr, als der hier betrachtete Algorithmus für die Reihe der untersuchten sechs Testbeispiele in der Lage war, ausschließlich zulässige Lösungen zu erzeugen. Freilich müssen die in diesem Rahmen erzielten, hervorragenden Ergebnisse zu einem nicht unerheblichen Teil auf die besondere Effektivität und Leistungsfähigkeit der Programmiersprache APL zurückgeführt werden, wie die Erläuterungen des Kapitels 3.3.3.2. deutlich unter Beweis zu stellen haben. Zuvor wollen wir jedoch die "Performance" unserer APL-Auswertungsroutinen im Zuge der Bewältigung von Large-Scale-Problems unter die Lupe nehmen, wie sie auch anlässlich der Auswertung unseres strategischen Modellsystems der Fertigungs- und Investitionsprogrammplanung in charakteristischer Weise auftreten.

3.3.2.2.2. Erläuterungen zu Erfahrungen mit Large-Scale-Problems

Es kann vorweggenommen werden, daß sich unsere Befürchtungen bezüglich einer zu knappen Bemessung der im Time-Sharing-Betrieb nutzbaren, benutzerspezifischen Kernspeicherkapazitäten voll bestätigt haben. Der verfügbare Freespace von 2,5 Megabyte reicht gerade aus, um das "quadratische" Optimierungsproblem der Dimension (250 Variablen x 250 (nicht-lineare) Restriktionen) einer entsprechenden Lösung zuzuführen. Somit muß die Bewältigung von Aufgabenstellungen des Umfangs

- 540 Veränderliche bei 1086 (linearen) Restriktionen,

wie sie der Basisversion unseres Entscheidungskalküls entspricht, sowie

- 460 Variablen unter Berücksichtigung von 506 (linearen) Nebenbedingungen, wie sie für die zweite Ausbaustufe unseres strategischen Modellsystems charakteristisch ist,

im Stapelbetrieb stattfinden, wobei, wie bereits erläutert, auf die Programmiersprache Fortran-V zu recurrieren ist, welche dem APL-Code konzeptionell unterlegen ist. Ungeachtet dieser Tatsache sollen wir nun die in Abb. 14 veranschaulichten, via APL erzielten Ergebnisse für die Testbeispiele Nr. 7 und Nr. 8 erläutern und kommentieren. Zunächst sei festgehalten, daß die Inputdatenspektren dieser Problemstellungen auf APL-intern erzeugten Zufallszahlenkonfigurationen basieren (APL-intrinsic function). Zielfunktionen und Restriktionssysteme sind jeweils nichtlinear gehalten, wobei quadratische Terme als höchstzulässige Potenzen festgehalten werden. Des weiteren ist die Erzeugung der Koeffizientenmatrizen noch losgelöst von den Inputparameterschemata unseres strategischen Modellsystems zu betreiben, deren spezifische Strukturen erst im Rahmen der Kapitel 3.3.4. sowie 3.3.5. Gegenstand entsprechender Betrachtungen sein sollen. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, daß bei der zufälligen Ziehung der jeweiligen Zielfunktionskoeffizienten bereits auf die Erzeugung von Analogien zu den Strukturelementen der Erklärungshypothese des Modellsystems geachtet wurde. Hierunter wäre etwa die Präsenz ausschließlich gleichgerichteter (vorzeichengleicher) Koeffizienten zu subsumieren.

In Abweichung zum realiter zu handhabenden Restriktionsschema unseres strategischen Modellsystems sind die Nebenbedingungen der hier zur Debatte stehenden Testprobleme von

nichtlinearer Struktur. Da es uns leider verwehrt bleibt, die "Performance" der APL-Auswertungs Prozeduren im Zuge der Lösung von Aufgabenstellungen zu erforschen, deren Problemumfänge die Größenordnung $250^2 = 62500$ übersteigt (die Hesse'sche Matrix des Beispiels Nr. 8 beansprucht damit allein schon in etwa 500 KB), wollen wir wenigstens versuchen, das "Behaviour" der APL-Version des Algorithmus bei der Bewältigung von mittleren, aber relativ komplexen Problemstellungen zu studieren. Hierbei betrachten wir nichtlineare Restriktionen als ein angemessenes Mittel zur Erschwerung der Lösungsfindung. Des weiteren sei betont, daß die Inputdatenkonfigurationen der Anwendungsbeispiele Nr. 7 sowie Nr. 8, abgesehen von der unterschiedlichen Dimensionierung, als homogen bezeichnet werden können. Dies will besagen, daß bei der zufallsgesteuerten Erzeugung der jeweiligen Datenspektren eine analoge mathematische Strukturierung zugrundegelegt wurde, was einen relativ problemlosen Vergleich der entsprechenden Ergebnismerkmale ermöglicht. Daß die beiden Problemkonstellationen trotzdem über voneinander abweichende $\frac{IT}{N}$ -Werte verfügen, kann auf plausible Weise durch die Tatsache erklärt werden, daß Testbeispiel Nr. 8 nicht nur die 2,5-fache Anzahl der in Beispiel Nr. 7 zu belegenden Variablen bewältigen muß, sondern auch einen ganz beachtlichen Anstieg der involvierten Restriktionen zu verzeichnen hat. Die entsprechende Steigerungsrate beläuft sich immerhin auf 500%. Darüber hinaus ist anzumerken, daß die Kenngröße $\frac{IT}{N}$ nicht ganz unabhängig ist von den Einflüssen einer zunehmenden relativen Besiedelungsdichte der Koeffizientenmatrizen, die offenbar in kausalem Zusammenhang steht mit der Zuwachsrate des Variablenspektrums.

Führt man sich nun die zur Lösung der beiden Testfälle auf-

gewendeten CPU-Zeiten vor Augen, so verblüfft zunächst die Tatsache, daß die korrespondierenden Werte auf einem erstaunlich niedrigen Niveau rangieren. Des weiteren ist einer direkten Gegenüberstellung der beispieelspezifischen Ergebnismerkmale zu entnehmen, daß sich die Steigerungsrate der Verarbeitungszeiten ($\frac{12,621 \cdot 100}{4,1} = 307,83 [\%]$) lediglich leicht überproportional zur Zuwachsrates der Funktionsevaluierungen ($\frac{2795 \cdot 100}{1143} = 244,53 [\%]$) verhält. Bezüglich der CPU-Zeiten je Problemfunktionsbewertung verzeichnen wir gar nur einen unterproportionalen (degressiven) Anstieg von etwa 118,38 %. Diese Ergebnisse sind in einer ganzen Reihe von diesbezüglichen Untersuchungen mit jeweils wechselnden Datenkonfigurationen immer wieder bestätigt worden, so daß wir in induktiver Weise zu der Aussage gelangen, daß mit steigenden Problemumfängen kein exponentielles Wachstum der CPU-Zeiten verknüpft ist. Entsprechende Hochrechnungen haben ergeben, daß unser erweitertes Modellsystem (460 Variablen bei 506 Restriktionen) via APL in weniger als 45 CPU-Minuten in einer befriedigenden Weise zur Auswertung gelangen könnte, würde dem nicht die genannte, harsche Restringierung der nutzbaren Kernspeicherkapazitäten widersprechen. Dies gilt umso mehr, als der Algorithmus auch bei vorstehenden Testproblemen ausschließlich zulässige Lösungen realisieren konnte.

Trotzdem gibt die hier im Raume stehende Rechenzeit von 45 Minuten Anlaß zu einigen weiterführenden Überlegungen. Einerseits erscheint die genannte Zeitspanne außerordentlich gering, wenn man bedenkt, daß hier ein nichtlineares Problem der Dimension ($460 \times 506 = 232760$) zur Lösung ansteht. Andererseits ist diese Zeit wohl unangemessen hoch, wenn sie im Time-Sharing-Betrieb via Dialogverarbeitung realisiert werden soll. Wir sind deshalb der Meinung, daß

ein Batch-Processing die zur Bewältigung unserer Aufgabenstellung gegebene Verarbeitungsform darstellt. Dies gilt umso mehr, wenn man die strategische Dimension des vorliegenden Tätigkeitsfeldes bedenkt (siehe hierzu auch Kapitel 3.3.2.1.). Da der Stapelbetrieb keinen (fühlbaren bzw. für uns relevanten) Limitierungen der Inanspruchnahme von CPU-Zeiten und Kernspeicherbelegungen unterworfen ist, sehen wir auch in der Substitution von APL durch die schwerfälligere Programmiersprache Fortran (VS. 5) kein weiteres Handikap. Wie die Ausführungen des Kapitels 3.3.3.3. offenbaren werden, kann die erweiterte Modellversion unseres strategischen Entscheidungskalküls via Fortran-V in etwa 60 CPU-Minuten zur Auswertung gelangen. Rechnet man dieses Ergebnis vorsichtig hoch auf entsprechende "Execution-Times", die im Rahmen der Auswertung unseres Basissystems aufzuwenden wären (540 Variablen bei 1086 Restriktionen), so ist man mit einer Zeit von etwa 150 CPU-Minuten recht gut bedient. Den Modellbenutzer können derartig lange Systemlaufzeiten nicht aus der Fassung bringen, da er um die Charakteristika des Batch-Processing weiß: Sein Job läuft in aller Regel erst nachts an (der exakte Zeitpunkt ist abhängig von der Wahl der "main deadline"), so daß entsprechende Ergebnisse von Hause aus erst am nächsten Tage verfügbar zu sein pflegen. Anders verhält es sich mit dem verantwortlichen Controller, der die übermäßig hohen EDV-Kosten seiner planenden Stellen zu verantworten hat. Aus diesem Grunde sind wir bereit, eine Reduzierung der maximal realisierbaren Systemlaufzeiten dadurch herbeizuführen, daß wir das Restriktionssystem unserer Basisversion des strategischen Entscheidungsmodells um die $T \cdot K \cdot M = 6 \cdot 10 \cdot 7 = 420$ Nichtnegativitätsbedingungen für die Infrastrukturkonzeptionen INV_{kt}^m vermindern. Gemäß den Ausführungen des Abschnitts 2.3.3.2. ist eine solche Vorge-

hensweise durchaus legitim. Somit verfügen wir über ein strategisches Modellkonzept, welches die Parameterstrukturen der Basisversion mit den Vorschlägen der erweiterten Modellversion zur sinnvollen Reduktion der Problemdimensionen analytisch verknüpft. In diesem Zusammenhange ist ein nichtlineares Optimierungsproblem des Umfangs (540 Variablen x 666 Restriktionen) via Fortran-V einer satisfizierenden Lösung zuzuführen. Hierzu jedoch mehr im Rahmen entsprechender Erörterungen der Kapitel 3.3.3.3. sowie 3.3.5.

3.3.2.3. Maßnahmen zur Steigerung der Leistungsfähigkeit der APL-Version des Augmented-Lagrangian nach Pierre-Lowe

Obwohl wir im vorangehenden Abschnitt zu der Erkenntnis gelangt sind, daß die von uns erstellten APL-Auswertungsroutinen zum Zwecke der mathematischen Lösung großer nichtlinearer Optimierungsprobleme faktisch nicht einsetzbar sind, wollen wir uns in diesem Kapitel trotzdem mit einer zentralen Fragestellung zu dem Ziele der weiteren Verbesserung des Leistungsvermögens der vorliegenden APL-Codes befassen. Wir begründen dies

- einerseits mit dem Hinweis, daß die hier erwähnten sowie diskutierten Maßnahmen zur Effizienzsteigerung der Fortran-V-Version des Algorithmus bei entsprechender Einarbeitung dieser Modifikationen gleichermaßen zugute kommen können, sowie
- andererseits mit unserem Bestreben, das in offensichtlicher Weise zur Bewältigung kleiner und mittlerer Problemstellungen hervorragend geeignete APL-Programmpaket nicht vollständig ad acta zu legen. Im Falle daß Opti-

mierungsaufgaben des bezeichneten Umfangs zur Lösung anstehen, etwa eine strategische Betrachtung mittels unseres Modellsystems zur Fertigungs- und Investitionsprogrammplanung, welche sich auf einem noch höheren Aggregationsniveau konkretisiert, kann dann jederzeit auf unsere effizienten APL-Routinen des Augmented-Lagrange nach Pierre-Lowe recurriert werden.

Die wichtigsten Initiativen zur Verbesserung der "Performance", die wir im Zuge einer intensiven Überarbeitung der vorliegenden APL-Programme ergriffen haben, betreffen

- die modellendogene Erzeugung günstiger Startwerte für die Lagrange'schen Multiplikatoren zum einen, sowie
- die Verfügbarkeit angemessener Werte der Penalty-Parameter w_i , $i = 1, \dots, 3$ zu jedem Iterationsschritt k .

Während die Erläuterungen zur erstgenannten Thematik den Rahmen dieser Analyse sprengen würden (hierzu planen wir die Erstellung einer weiteren wissenschaftlichen Abhandlung), sollen die zuletzt genannten Maßnahmenkomplexe an dieser Stelle in hinreichend detaillierter Weise erörtert werden.

Es sei zunächst erinnert an die von Pierre-Lowe vorgeschlagene Regel einer multiplikativen Fortschreibung der Penalty-Weights (vgl. Kapitel 3.3.1. sowie Pierre-Lowe 1975). Ein solches Updating ist bekanntlich stets dann durchzuführen, wenn auch eine Reorganisation der Lagrange-schen Multiplikatoren angesagt ist. Letzteres wiederum ist dann vonnöten, wenn die Suche nach einem lokalen Maximum bezüglich einer vorgegebenen Bewegungsrichtung ("unidirectional search") nicht erfolgreich terminiert werden konnte. In diesem Falle

ergibt sich kein Stepsize-Parameter mehr, der von Null verschieden wäre.

Wir haben im Verlaufe ausgiebiger Testreihen eigens zur Exploration der oben geschilderten Problematik festgestellt, daß die unflexible, weil starre Vorschrift zur sukzessiven Erhöhung der Penalties insbesondere dann zum frühzeitigen Abbruch erfolgsversprechender Suchzyklen führt, wenn das Restriktionssystem der zugrundliegenden Problemstellung über ausgesprochen stringente Plafonds verfügt. Pierre-Lowe begründen die Notwendigkeit des multiplikativ organisierten Penalty-Updating mit der Möglichkeit latenter Restriktionsdurchbrüche, welche durch ein schnelles Anwachsen der hierfür in Kauf zunehmenden Strafmaße zu verhindern seien. Letzteres indes sei nur im Wege einer multiplikativen Erhöhung mittels einer positiven ganzen Zahl sicherzustellen (vgl. Kapitel 3.3.1. sowie Pierre-Lowe, 1975).

Wir sind der Meinung, daß diese Vorgehensweise der Autoren zu stark vom Vorsichtsprinzip geprägt ist. Gefragt ist jedoch ein goldener Mittelweg zwischen der bestmöglichen "Ausbeutung" der jeweils eingeschlagenen Suchrichtungen einerseits sowie der Erfüllung des Gebots der Erzeugung einer zulässigen Lösung andererseits. Wir glauben diesen Weg dann zu beschreiten, wenn wir eine gestufte additive Erhöhung der Penalty-Parameter propagieren:

Der Lösungsprozeß ist mit angemessen hohen Penalties zu starten, um eine Tolerierung von allzu harschen Verletzungen des Restriktionssystems a-priori zu vermeiden. Trotzdem sind die Initialwerte der w_i , $i = 1, \dots, 3$, nicht etwa so hoch anzusetzen, daß bereits geringfügige Übertretungen der Restriktionsplafonds über Gebühr streng geahndet

werden. Die Folgen wären eine schlechte Exploration der zu untersuchenden Bewegungsrichtungen sowie u.U. ein hierauf zurückzuführender frühzeitiger Abbruch des Lösungsprozesses. Bis zu diesem Punkte stimmen wir mit den diesbezüglichen Ausführungen von Pierre-Lowe vollkommen überein.

Im Gegensatz zu den Schöpfern des hier zur Debatte stehenden nichtlinearen Optimierungsverfahrens sind wir nun der Meinung, daß die Penalties nach einem stufenförmigen, additiven Verfahren fortzuschreiben sind, sobald der Algorithmus in die Update-Phase eintritt. Zu diesem Zwecke ist einer eingangs definierten, beliebigen arithmetischen oder geometrischen Zahlenfolge das erste Element zu entnehmen und dem ursprünglichen Penalty-Wert additiv hinzuzufügen. Anschließend ist das zu dieser Operation verwendete Element der Zahlenfolge aus letzterer zu entfernen. Wir benutzen zur Anpassung aller Penalties i , $i = 1, \dots, 3$, etwa die Folge der natürlichen Zahlen. Dann würde sich, bei vorgegebenen Initialwerten w_i

mit $w_1 = 4$, $w_2 = 4$, $w_3 = 2$ sowie ebenfalls fest vorgegebenen Maximalwerten $w_i^{\max}$
mit $w_1^{\max} = 40$, $w_2^{\max} = 50$, $w_3^{\max} = 25$, das nachfolgende Update-Procedere einstellen:

$i = 1 : 4 \ 5 \ 7 \ 10 \ 14 \ 19 \ 25 \ 32 \ 40 \ 40 \ \dots$

$i = 2 : 4 \ 5 \ 7 \ 10 \ 14 \ 19 \ 25 \ 32 \ 40 \ 49 \ 50 \ 50 \ \dots$

$i = 3 : 2 \ 3 \ 5 \ 8 \ 12 \ 17 \ 23 \ 25 \ 25 \ \dots$

Zum direkten Vergleich liefern wir die von Pierre-Lowe propagierte, starre Fortschreibung, etwa mit dem Faktor 2 (bei gleichbleibenden Start- und Höchstwerten):

$i = 1 : 4 \ 8 \ 16 \ 32 \ 40 \ 40 \ \dots$

$i = 2 : 4 \ 8 \ 16 \ 32 \ 50 \ 50 \ \dots$

$i = 3 : 2 \ 4 \ 8 \ 16 \ 25 \ 25 \ \dots$

Hieraus ersehen wir unmittelbar, daß die von uns bevorzugte Anpassungsprozedur nicht nur eine feinere Abstimmung der Schrittweiten zeitigt, sondern auch eine effizientere Nutzung der Fortschreibungsspielräume sicherstellt, welche durch die maximal zulässigen Werte für die Penalties gekennzeichnet sind. Dies zeigt sich besonders eklatant in den Fällen $i = 2$ sowie $i = 3$, die über gemeinsame Initial-, jedoch verschiedenartige Maximalwerte verfügen. Letztere werden im Wege einer multiplikativen Anpassung der Penalties in beiden Fällen bereits im Rahmen der vierten Update-Phase erreicht und anschließend beibehalten, obgleich sie in nicht unerheblichem Maße voneinander differieren. Selbstverständlich steht es dem Benutzer des algorithmischen Verfahrens offen, für die verschiedenen Penalty-Gattungen i , $i = 1, \dots, 3$, auch unterschiedlich strukturierte Update-Folgen zu generieren, um im Einzelfalle noch harmnischere Abstufungen zu erzielen (eine analoge Aussage gilt freilich auch für die starre Update-Regel). Des weiteren wäre auch, je nach Belieben, eine gemischt additiv-multiplikative Fortschreibungsstrategie denkbar, wobei sich eine multiplikative Anpassung etwa auf die Fälle $i = 1$ (Gleichungs-Penalties) oder $i = 2$ (aktive Ungleichheitsrelationen) beschränken sollte, da hier die Gefahr der übermäßigen Mißachtung der Plafonds besonders akut ist. In diesem Zusammenhange sei festgehalten, daß die Stärken des gestuft-additiven Anpassungsverfahrens eindeutig in ihrem Beitrag zur weiteren Verbesserung der "Performance" der zugrundeliegenden nichtlinearen Optimierungstechnik im Zuge der Lösung mittlerer und großer Problemstellungen liegen. Im Rahmen der Bewältigung von Aufgabenstellungen einer geringen Dimension könnte die Anwendung unserer additiven Update-Regel in ihrer reinen Form zur Verschlechterung des algorithmischen Konvergenzverhaltens führen. Es sei jedoch

betont, daß wir anläßlich der Durchführung entsprechender Testläufe mit den Demonstrationsbeispielen Nr. 1 bis Nr. 6 keine dysfunktionalen Auswirkungen der bezeichneten Art beobachtet haben. Zur Veranschaulichung des überaus positiven Einflusses der hier vorgestellten, flexiblen Penalty-Anpassungsregel auf den Verlauf der Lösungsprozesse größere Optimierungsaufgaben sollen die nachfolgenden "Hausnummern" dienen:

Die dem Testbeispiel Nr. 8 zugrundeliegende Problemstellung konnte in 14,582 CPU-Minuten (ursprünglich 16,721 CPU-Minuten) einer Lösung zugeführt werden, welche 10,19 Prozentpunkte über dem eingangs realisierten Maximalwert angesiedelt ist. Hierzu waren lediglich 1312 Iterationen mit 3337 Funktionsevaluierungen vonnöten. Wir glauben, daß dem eigentlich nichts mehr hinzuzufügen ist.

3.3.3. Die Darlegung des Leistungsspektrums einer modifizierten Fortran-V-Fassung des Algorithmus anhand auserwählter Testbeispiele

Einen ersten Abschnitt dieses Kapitels wollen wir einer knappen Erläuterung der Modifikationen widmen, welche am ursprünglichen, von Pierre-Lowe veröffentlichten Fortran-Programmpaket vorgenommen wurden mit dem Ziele einer formalen Reduktion der insgesamt durchzuführenden Programmschritte. Bereits an früherer Stelle wurde erwähnt, daß auch die Entwicklung der bereits in hinreichend detaillierter Weise beschriebenen APL-Auswertungsroutinen von diesen Modifikationen profitiert hat.

Nachfolgend werden wir uns mit einer Reihe von essentiellen Auswertungen und Ergebnissen befassen, die im Verlaufe der materiellen Exploration dieser modifizierten Fortran-

Auswertungsprogramme angefallen sind. Die beiliegende Tabelle der Abb. 15 soll uns einen ersten Einblick verschaffen bezüglich des Leistungsvermögens der von uns verwendeten Programmpakete im Zuge der Lösung von elf ausgewählten Testbeispielen.

Die ersten sechs Inputdatenspektren sind vollkommen identisch mit den korrespondierenden, in Abb. 14 beschriebenen Datenkonfigurationen und müssen demzufolge wiederum in die Kategorie geringvolumiger Problemstellungen eingeordnet werden. Diesbezügliche Ergebnismerkmale sind im zweiten Abschnitt dieses Kapitels zu analysieren.

Die restlichen fünf Anwendungsfälle subsumieren wir unter die Gattung der Large-scale-problems, wobei die Testbeispiele Nr. 7 sowie Nr. 8 wiederum mit den Inputdaten der entsprechenden, im Rahmen des Kapitels 3.3.2.2.2. diskutierten Optimierungsprobleme operieren. Bei der Dimensionierung der Anwendungsfälle Nr. 9 bis Nr. 11 wurde hingegen gesteigerter Wert auf die Imitation von realiter, im Zuge der Auswertung unseres strategischen Modellsystems zu handhabenden Problemumfängen gelegt. Wir halten die hieraus resultierenden Testergebnisse für höchst aufschlußreich zum Zwecke der Formulierung einer abschließenden Beurteilung der Implementierfähigkeit unseres strategischen Modellsystems und wollen ihnen aus diesem Grunde einen separaten Abschnitt reservieren.

3.3.3.1. Erläuterungen zur gegenüber der Pierre-Lowe'schen Urversion vorgenommenen Programm-Modifikationen

Den diesbezüglichen Betrachtungen ist vor auszuschicken, daß die Schöpfer des hier zur Debatte stehenden Augmented-Lagrangian-Algorithmus selbstverständlich darum bemüht waren, ein möglichst generell gehaltenes mathematisches Lösungsverfahren zur Bewältigung des Standard-NLP zu generieren. Aufgrund der spezifischen Modellstrukturen unseres strategischen Optimierungssystems sind wir jedoch nicht in der Lage, die uns hier gebotene Generalität in angemessener Weise zu nutzen. Dies eröffnet uns die Möglichkeit, die von uns nicht benötigten Programmschritte aus dem Gesamtlösungspaket zu eliminieren. Trotzdem wollen wir nicht darauf verzichten, die von Pierre-Lowe entwickelte Standardversion des Algorithmus in einem separaten Data-Set abzuspeichern. In Anbetracht der Tatsache, daß dieses nichtlineare Optimierungsverfahren auch einen wesentlichen Beitrag zur mathematischen Bewältigung von zukünftig quantitativ zu modellierenden Entscheidungsproblemen leisten könnte, ist die Verfügbarkeit eines möglichst allgemein formulierten Lösungsverfahrens sicherzustellen, da über die mathematischen und strukturellen Eigenschaften besagter Problemstellungen naturgemäß noch keinerlei Informationen vorliegen können.

Die Reduktion der insgesamt zu vollziehenden Programmschritte hat selbstverständlich nicht nur rein formale, sondern auch materielle Konsequenzen. Letztere bestehen vor allen Dingen in entsprechend verminderten Compilations- und Bearbeitungszeiten. Im Falle der Programmiersprache APL, welche bekanntlich auf Interpreter-Basis operiert, ist u.U. sogar mit einer beträchtlichen Abnahme der "Execution-Times"

zu rechnen. Des weiteren kann eine erhebliche Vereinfachung und Straffung der Programmlogik erwartet werden. In diesem Zusammenhange sei noch ergänzt, daß die im vorliegenden Abschnitt diskutierten Modifikationen keineswegs lediglich auf die formale Elimination der für unsere Zwecke irrelevanten Programmschritte gerichtet sind. Sie beinhalten überdies eine Reihe von Gestaltungsmaßnahmen, welche ein verbessertes Handling und damit einen erhöhten Komfort im Umgang mit dem vorstehenden nichtlinearen Optimierungsverfahren zum Ziele haben. Im einzelnen sind nun die nachstehend katalogisierten Modifikationen durchzuführen:

1. In Anbetracht der Tatsache, daß die Nebenbedingungsschemata unseres strategischen Modellsystems über keinerlei Gleichheitsrelationen verfügen, kann auf die Gesamtheit der einschlägigen Prozeduren verzichtet werden, welche die Initialisierung, Verarbeitung und Überwachung solcher Restriktionen zum Inhalt haben. Insbesondere kann hierdurch eine Vielzahl von entsprechenden Systemparametern (korrespondierende Lagrange'sche Multiplikatoren und Penalty-Weights u.ä.m.) eingespart werden. Diese Maßnahme allein zeitigt bereits eine ganz beträchtliche Reduktion der Anzahl zu editierender Programm-Statements.
2. Pierre-Lowe behandeln die Wertebereichsrelationen von "Bounded Variables", rein materiell betrachtet, als vollwertige Ungleichheitsrestriktionen, betreiben aber gleichzeitig deren formelle Ausgliederung aus dem genannten Restriktionsverbund (vgl. Pierre-Lowe 1975). Wir sind der Meinung, daß eine solche Vorgehensweise weder zur Verbesserung des Handlings, noch zu einer gesteigerten Qualität der analytischen "Performance" der hier betrachteten Augmented-Lagrangian beiträgt. Darüber hinaus ist eine formale Eigenständigkeit der

Relationen zur Restringierung der Entscheidungsvariablen nur im Wege der Einführung zusätzlicher Symbole und einer damit einhergehenden Reservierung zusätzlicher Speicherfelder realisierbar. Man kann wohl schwerlich behaupten, daß dies von einem ausgeprägten Ökonomiebewußtsein zeugt, was die bestmögliche Nutzung knapper und damit teurer Kernspeicherkapazitäten anbetrifft. Obige Argumentation ist somit geeignet, die von uns favorisierte Wiedereingliederung der Bounded-Variable-Plafonds in den Restriktionsverbund der Ungleichheitsbeziehungen zu rechtfertigen. Dies gilt umso mehr, als eine solche Maßnahme eine weitere, ganz erhebliche Verringerung der Anzahl zu berücksichtigender Programm-Statements zeitigt.

3. Im Zuge langwieriger und erschöpfender Testreihen haben wir festgestellt, daß sich die Durchführung von Double-Precision-Optimierungen, wie sie Pierre-Lowe empfehlen und auch selbst verwendet haben, nicht auszahlt. Die doppelte Genauigkeit konsumiert unverhältnismäßig viel Speicherplatz und erzielt lediglich vernachlässigbar geringe Verbesserungen der Ergebnismerkmale. So hielten sich die Zuwächse an Optimalität in der eher bescheiden anmutenden Grenze von 1,5%, betrachtet im Durchschnitt über alle Testläufe.
4. Da Pierre-Lowe den ihnen offenstehenden Spielraum der Verwendung von "Common-Blöcken" nur unvollständig genutzt haben, empfanden wir es als absolute Notwendigkeit, diesbezügliche Versäumnisse nachzuholen. Einerseits ist diese Maßnahme bestens zur Einsparung weiterer Kernspeicherkapazitäten geeignet; andererseits trägt das Verschwinden der unübersichtlichen, unhandlichen Parameterübergabelisten zum verbesserten Handling des Algorithmus in nicht unerheblichem Maße bei.

5. Des weiteren halten wir eine Loslösung der Initialisierungsmechanismen für die algorithmisch zu handhabenden Problemfunktionen ("performance index", Nebenbedingungsschemata) sowie deren Gradienten vom allgemeinen "Eröffnungspaket" des Optimierungsverfahrens für unbedingt erforderlich. In Anbetracht der Tatsache, daß die entsprechenden Inputdatenspektren für unser strategisches Modellsystem künftighin über geeignete Schnittstellen zu Primärdatenbanken, weiteren vorgelagerten Sekundärdatensystemen sowie hierarchisch strukturierten, manuellen Eingabesystemen bereitzustellen sind, empfehlen wir eine Kopplung besagter Initialisierungsroutinen an entsprechende Programmpakete der Datenbereitstellung und -aufbereitung. Hierdurch kann eine erhöhte Flexibilität unserer Auswertungsprogramme gegenüber latent stets vorhandenen Änderungstendenzen in den Umweltparameterkonstellationen erzielt werden. In diesem Sinne werten wir den hier präsentierten Verbesserungsvorschlag als einen Beitrag zur gesteigerten Benutzerfreundlichkeit unseres strategischen Modellsystems.
6. Eine äquivalente Aussage ist auch für unseren Maßnahmenkatalog zur Umgestaltung der von Pierre-Lowe empfohlenen Outputroutinen zu lancieren. Freilich ist in diesem Zusammenhange anzumerken, daß sich die Autoren im Design der Auswertungsstatistiken zwangsläufig an den Bedürfnissen eines Anwenderkreises orientiert haben, welcher ausschließlich an der mathematischen "Performance" des Algorithmus und diesbezüglichen Ergebnismerkmalen ein gesteigertes Interesse zeigt. Selbstverständlich müssen derartige Ergebnisdarstellungen für unsere Zwecke als höchst unzureichend eingestuft werden. Aus diesem Grunde halten wir die Einführung um-

fassender Displaystatistiken für absolut unumgänglich. Solche anwenderorientierten Outputlisten stehen primär im Dienste einer übersichtlichen Tabellierung der optimalen Werte der zugrundeliegenden Entscheidungsvariablen, einer deutlichen Hervorhebung der hierdurch erzielbaren Realisation des Entscheidungskriteriums sowie der Generation aussagekräftiger Planungskennziffern auf Basis der modellmäßig erzeugten Ergebnisstrukturen. Auch die in diesem Punkte diskutierten Änderungsvorschläge begreifen wir als ein Zugeständnis an die benutzerfreundliche Ausgestaltung unseres strategischen Planungssystems. Weitere diesbezügliche Ausführungen sind den Erörterungen des Kapitels 4.2. zu entnehmen.

7. Abschließend sei erwähnt, daß die von Pierre-Lowe kreierten Fortran-Statements vermöge geeigneter Zusammenfassungen zu homogenen Programmblöcken (Umgruppierung von Ansprungsmarken zur Harmonisierung des logischen Programmflusses) effizienter koordiniert werden können. In diesem Zusammenhange sei auch der Übergang zur variablen Dimensionierung der Arrays propagiert. Es sind dies Maßnahmen, welche einen erhöhten Komfort im Umgang mit den hier vorliegenden Verfahren der nichtlinearen Programmierung versprechen.

Zusammenfassend ist festzuhalten, daß die in diesem Abschnitt diskutierten Modifikationen des Fortran-Programmpakets in entscheidendem Maße zur Verbesserung der Effizienz unseres algorithmischen Lösungsverfahrens einerseits, sowie zur antizipativen Handhabung potentiell eintretender Akzeptanzprobleme andererseits beigetragen haben.

3.3.3.2. Testergebnisse bei geringen Problemumfängen

Wir wollen nun nachfolgend anhand der Ergebnismerkmale der ersten sechs, in Abb. 15 aufgelisteten Testbeispiele einige allgemeine Aussagen machen hinsichtlich der "Performance" der hierbei zum Einsatz gekommenen, modifizierten Fortran-Auswertungsroutinen. Zu diesem Zwecke werden wir auch auf die bereits im Zuge entsprechender Kommentierungen des APL-Programmpakets definierten Effizienzmaßstäbe recurrieren. Im Vordergrund der hier anzustellenden Betrachtungen steht primär die qualitative sowie quantitative Erfassung der Nachteile, die beim Übergang von der Programmiersprache APL zu dem auf niedrigerem Niveau angesiedelten Fortran-V-Code in Kauf zu nehmen sind. In Kenntnis der Ausführungen des Kapitels 3.3.2.1. können wir auch Gründe anführen für die de facto gegebene Superiorität der Programmierung in APL, welche umso höher einzuschätzen ist, wenn man bedenkt, daß APL-Anwendungen auf die hinreichend bekannten Vorteile eines Compilers verzichten müssen. Betrachten wir die für die Testbeispiele eins bis sechs aufzuwendenden CPU-Zeiten, wie sie für das Fortran-Processing charakteristisch sind (Abb. 15), so liefert eine Gegenüberstellung mit den korrespondierenden Rechenzeiten der Abb.14, wie sie vermöge einer APL-Verarbeitung erzielt worden sind, einen unumstößlichen Beweis für unsere Superioritäts-(Inferioritäts-)these. Wir sind uns darüber im klaren, daß der von uns hier angestellte Effizienzvergleich zwischen den beiden genannten Programmiercodes nur deswegen Platz greifen kann, weil jeweils identische Inputdatenkonstellationen bei gleicher Hardwarekonfiguration zum Zuge gekommen sind. Im Durchschnitt über alle sechs hier zur Betrachtung anstehenden Testbeispiele ist mit einem Anstieg der "Execution Times" um exakt 52 % (!) zu rechnen, wenn auf

Fortran-V-compilierte Auswertungsprogramme zurückgegriffen wird. Aufgrund unserer langjährigen Erfahrung im Umgang mit beiden, hier zitierten Programmiercodes wissen wir, daß die genannte Zahl von 52 % ein recht gutes Maß für die Fortran-spezifischen Effizienzdefizite gegenüber APL repräsentiert. Der hier beschriebene Zuwachs der Verarbeitungszeiten wiegt jedoch umso schwerer, wenn man in Betracht zieht, daß diese zusätzlich beanspruchten Zeitspannen nicht etwa auf den Vollzug von erheblich mehr Iterationsschritten und Funktionsevaluierungen beruhen. Wir wissen, daß die geringfügige Zunahme der Gesamtanzahl

- von Problemiterationen, welche sich, im Durchschnitt über alle sechs Demonstrationsbeispiele betrachtet, auf 7,95 % beläuft, sowie von
- Evaluierungen der jeweiligen Problemfunktionen, welche wiederum durchschnittlich um lediglich 4,83 % ansteigen,

zurückzuführen ist auf unser bereits im letzten Abschnitt dokumentiertes Bestreben, eine im übrigen noch zeitintensivere Double-Precision-Optimierung zu vermeiden. Unsere solcherart verringerten Genauigkeitsansprüche müssen somit zwangsläufig zu einer wenn auch vernachlässigbar geringen Zunahme der Iterationstätigkeit führen.

Diese Erkenntnis macht jedoch zugleich offenbar, daß die erhöhten Rechenzeiten voll auf das Konto der strukturell bedingten Nachteile des Fortran-V-Codes gegenüber der Programmiersprache APL gehen. Mit anderen Worten muß sich die Steigerungsrate der "Execution Times" in gleichförmiger Weise über in etwa konstant gebliebene Gesamtsummen der Problemiterationen sowie Funktionsevaluierungen verteilen, so daß sich die Fortran-spezifischen Folgenwerte der $\frac{ET}{IT}$ [CPU-Min] und $\frac{AFE}{IT}$ [CPU-Min] auf einem gemeinsamen

höheren Niveau konkretisieren. Ein Blick auf die entsprechenden Kolumnen der Abb. 15 vermag diese Überlegung zu bestätigen. Während die Rechenzeiten pro Iterationsschritt um 41,43 % ansteigen, ist eine Zunahme der Verarbeitungszeiten je durchgeführter Funktionsevaluation um satte 45,5 % zu verzeichnen (jeweils im Durchschnitt über alle sechs betrachteten Testbeispiele). Die unterschiedlichen Zuwachsraten sind bekanntlich darauf zurückzuführen, daß im Zuge der Optimierung mit einfacher Präzision in aller Regel, eben aufgrund der reduzierten Genauigkeitsansprüche, eine Verminderung der pro Iterationsschritt (Suchzyklus) initiierten Funktionsevaluierungen eintritt.

In Anbetracht der Tatsache, daß man die wertmäßigen Aussagen der in Abb. 15 dargestellten, Fortran-spezifischen Ergebnisstrukturen bezüglich der ersten sechs (geringvolumigen) Anwendungsfälle mehr oder minder als eine auf höherem Niveau angesiedelte, in etwa lineare Transformation der korrespondierenden, in Abb. 14 niedergelegten Ergebnismerkmale interpretieren kann, gelten die im Rahmen der Erörterung des APL-Programmpaketes lancierten Feststellungen bezüglich der "Performance" des hier verwendeten nicht-linearen Optimierungsverfahrens in diesem Zusammenhange in analoger Weise (vgl. hierzu Kap. 3.3.2.2.1.).

Abschließend darf festgehalten werden, daß die APL-Version des Augmented-Lagrangian nach Pierre-Lowe in der Summe ihrer Eigenschaften wohl besser mit den außergewöhnlichen Effizienzcharakteristika dieses Algorithmus harmoniert. Wir wissen jedoch, daß eine solche Liäson nicht realisierbar ist, zumindest was großvolumige Problemstellungen anbetrifft. Die im Verlaufe dieses Abschnittes zitierten Defekte einer Fortran-Codierung lassen sich jedoch im Zuge

des Batch-Processing relativ leicht verschmerzen. Dies gilt umso mehr, als auch dieses Programmpaket von der außerordentlich hohen Reliabilität des zugrundeliegenden algorithmischen Lösungsprocedures Zeugnis ablegt: Nahezu 98 % aller via Fortran-V initiierten Testläufe konnten mit der Gewinnung zulässiger Lösungen terminiert werden.

3.3.3.3. Die Präsentation der Erfahrungen mit großvolumigen Problemstellungen der betrieblichen Praxis

Wir wollen zunächst den im vorhergehenden Abschnitt begonnenen Effizienzvergleich der von uns verwendeten Programmiersprachen Fortran-V und APL auf mittlere und große Problemstellungen ausdehnen. Hierzu bedienen wir uns der Inputdatenspektren der Testbeispiele Nr. 7 sowie Nr. 8, welche, wie bereits im Rahmen des Kapitels 3.3.2.2. ausführlichst erläutert, auf APL-intern erzeugten Zufallszahlenkonfigurationen basieren. In diesem Zusammenhange sei erwähnt, daß im Unternehmen für die beiden genannten Programmiercodes ein gemeinsames Trägersystem vorgesehen ist. Aus diesem Grunde birgt ein Transferieren von APL-Datenbeständen in entsprechende Fortran-Datasets keine weiteren Schwierigkeiten. Somit ist eine direkte Vergleichbarkeit der via Fortran-V erzielten Testergebnisse mit den entsprechenden, auf APL-Basis erzeugten Ergebnismerkmalen in jedem Falle gewährleistet.

Betrachten wir nun die zur Auswertung der Anwendungsbeispiele sieben und acht zu erbringenden CPU-Zeiten, wie sie sich im Zuge einer Fortran-V-Verarbeitung ergeben. Wir stellen fest, daß diese "Execution Times", im Durchschnitt über die Wertekonstellationen beider Testfälle (vgl. Abb. 15),

um exakt 57,3 % über dem entsprechenden, per APL erzielten Zeitniveau rangieren. Hierbei ist eine höchst geringfügige Zunahme der Iterationstätigkeit (+ 5,5, %) bei einem vernachlässigbar kleinen Anstieg der Gesamtanzahl durchgeführter Problemfunktionsbewertungen (+ 2,95 %) zu verzeichnen. Das hier zitierte Zahlenmaterial legt offenbar, daß im Zuge der Ausweitung der Problemumfänge keinesfalls mit einer drastischen Verschlechterung der Effizienzrelationen der beiden hier zur Debatte stehenden Programmiercodes zuungunsten der Fortran-V-Version gerechnet werden muß. Wenn wir einmal von durchschnittlichen Problemumfängen (Produkt aus der Anzahl zu belegender Veränderlicher sowie zu berücksichtigender Restriktionen, gemittelt über alle Anwendungsbeispiele der jeweiligen Problemkreise)

- der ersten sechs, geringvolumigen Testbeispiele in Höhe von 79,33, sowie
- der Anwendungsbeispiele Nr. 7 und Nr. 8 in der Größenordnung von 33750

ausgehen, so ergibt sich eine mittlere Steigerungsrate der Problemumfänge von beachtlichen 42443,8 % (!). Dem ist jedoch ein durchschnittliches Wachstum der Effizienznachteile der Fortran-V-Codierung gegenüber einer äquivalenten APL-Version von lediglich $\frac{57,3 - 52}{52} \cdot 100 = 10,19 \%$ gegenüberzustellen. Wir wollen daher in diesem Zusammenhang von einer weitgehenden Stabilisierung der quantitativ erfaßbaren Superioritäts- (Inferioritäts-)beziehung zwischen Fortran-V und APL sprechen, wenn es zu (beträchtlichen) Vergrößerungen der zugrundeliegenden Problemdimensionen kommt. Diese These scheint umso plausibler, wenn man sich das nachfolgende Zahlenmaterial vor Augen führt: Im Zuge der Lösung der Testfälle sieben und acht konkretisieren sich die Folgenwerte der $\frac{ET}{IT}$ [CPU-Min] (+ 50,5 %) und

$\frac{ET}{AFE}$ [CPU-Min] (+ 53,55 %) gegenüber den entsprechenden, via APL erzielten Wertespektren auf einem gemeinsamen höheren Niveau (vgl. hierzu auch Kapitel 3.3.3.2.). Wenn man wiederum einen Zuwachs der Problemdimensionen im oben genannten Umfange unterstellt, liegt dieses Niveau nur unwesentlich über jenem, wie es für geringvolumige Problemstellungen charakteristisch ist (+ 41,43 % im Falle der $\frac{ET}{IT}$ sowie + 45,5 % bezüglich der $\frac{ET}{AFE}$). Wir konstatieren in diesem Zusammenhange ein durchschnittliches Wachstum der Fortran-spezifischen Effizienz Nachteile gegenüber der APL-Codierung in Höhe von 21,89 % respektive 17,69 %. In Anbetracht der beträchtlichen Ausdehnung der zugrundeliegenden Problemumfänge erscheinen auch diese Zuwachsraten vergleichsweise moderat. Wenn man überdies bedenkt, daß die hier analysierten Testreihen stets unter Erzielung zulässiger Lösungen terminiert werden konnten, darf eine satisfizierende Bewältigung der im Zuge einer Auswertung unseres strategischen Modellsystems zu handhabenden, großvolumigen Optimierungsprobleme mithin als gesichert erachtet werden. Ein Blick auf die in Abb. 15 memorierten Ergebnismerkmale der Testbeispiele Nr. 9 bis Nr. 11 vermag diese Behauptung entscheidend zu stützen.

Zunächst sei festgehalten, daß die Inputdatenspektren der zuletzt genannten Anwendungsfälle nicht etwa auf APL-, sondern auf Fortran-intern erzeugten Zufallszahlenkonfigurationen basieren (Fortran-intrinsic-function). Hierfür sind zwei verschiedene Gründe ausschlaggebend: Einmal beschäftigen wir uns in diesem Rahmen mit Fortran-Anwendungen, so daß es naheliegt, auch auf Fortran-compilierte Zufallszahlen zu recurrieren, um uns die Überspielung entsprechender APL-Datenbestände zu ersparen. Zum anderen konnten wir nach eingehendem Studium der statistischen

Eigenschaften der via Fortran zufällig auserwählten Testdaten feststellen, daß diese Zufallszahlen insbesondere der Forderung nach Nichtexistenz von Zyklen im Ziehungsprozeß in befriedigenderer Weise Genüge tun, als die via APL generierten "Randoms" hierzu in der Lage wären. Wir können uns mithin gezielte, diesbezügliche Korrekturen der Dateninputs ersparen, wie sie zum Zwecke der Erzeugung realistischer Koeffizientenmatrizen für die Anwendungsfälle Nr. 7 und Nr. 8 leider erforderlich waren.

Es ist auf den ersten Blick ersichtlich, daß die Datenkonstellation des Testbeispiels neun auf die Problemdimensionen zugeschnitten ist, wie sie im Zuge der Auswertung unseres erweiterten strategischen Modellsystems zu bewältigen sind. Aus den bereits im Kapitel 3.3.2.2.1 erläuterten Gründen ist hier eine nichtlineare Zielfunktion zu optimieren, welche nicht über die Eigenschaft der Trennbarkeit verfügt. In diesem Zusammenhange gilt es nun ein System von linearen Restriktionen zu berücksichtigen (vgl. hierzu Kapitel 3.3.2.2.2.). Wenn wir überdies eine lineare Spezifikation der Fremdbezugskostenkorrekturfunktionen $F_{jt} := F_{jt}(AH_{jt}), \forall (j,t)$, voraussetzen (vgl. hierzu Kapitel 2.3.1.1. sowie Kapitel 4.1.1.), sind für die Erklärungshypothese quadratische Terme als höchstzulässige Potenzen festzuhalten. Zum Zwecke der Wertschätzung der mathematischen "performance" unseres nichtlinearen Optimierungsverfahrens im Zuge der Lösung kubischer Problemstellungen größeren Umfanges, soll für das Testbeispiel Nr. 11 die Annahme linearer $F_{jt}(\forall (j,t))$ zugunsten entsprechender quadratischer Approximationen, wie sie im Rahmen der Ausführungen des Kapitels 4.1.1. als realistische Alternative zu diskutieren sind, fallengelassen werden. Zur vollständigen Charakterisierung des elften Anwendungs-

falls sei hinzugefügt, daß die hier zugrundeliegende Problemstellung der Imitation des im Rahmen der mathematischen Auswertung des Basissystems unseres strategischen Entscheidungskalküls zu handhabenden Problemumfanges diene. In diesem Zusammenhang ist die Belegung von 540 echten Entscheidungsvariablen unter Beachtung eines reduzierten Systems von 666 linearen Restriktionen angesagt (vgl. hierzu Kapitel 3.3.2.2.2.), wobei auf eine separable Erklärungshypothese zurückgegriffen werden kann (vgl. hierzu Kapitel 3.3.2.2.1.). Diese Ausführungen können zur Beschreibung der Eigenschaften des Testbeispiels Nr. 10 in analoger Weise herangezogen werden mit der einen Ausnahme, daß hier, unter Aktivierung der Linearitätsannahme für F_{jt} ($\forall (j,t)$), wiederum auf die Optimierung einer Zielfunktion zweiten Grades recurriert wird. Schließlich bleibt anzu merken, daß anläßlich der zufälligen Ziehung der jeweiligen Koeffizientenmatrizen bereits auf die Generierung von Analogien zu den realitären Strukturelementen unseres Modellsystems gesteigerter Wert gelegt wurde. Auf eine exakte Abbildung der entscheidungskalkülspezifischen Strukturen sollte jedoch vorläufig ganz bewußt verzichtet werden (vgl. hierzu Kapitel 3.3.4. sowie 3.3.5).

Betrachten wir uns nunmehr die zur Lösung der Testbeispiele Nr. 9 und Nr. 10 aufzuwendenden CPU-Zeiten, so wird offenbar, daß beide Werte auf einem zunächst nicht erwarteten, vergleichsweise niedrigen Niveau liegen. Legt man beim Übergang vom Testfall acht zum Anwendungsbeispiel neun eine Steigerung der zu handhabenden Problemumfänge um $\frac{460 \cdot 506 - 250^2}{250^2} \cdot 100 = 272,42 \%$ bei einer Zunahme der insgesamt jeweils durchzuführenden Iterationsschritte um $\frac{1577 - 542}{542} \cdot 100 = 190,96 \%$ zugrunde, so mutet der korrespondierende Anstieg der "Execution Times" in der Größen-

ordnung von 140 % ausgesprochen bescheiden an. Dies gilt umso mehr, als die dem Testbeispiel Nr. 9 zugrundeliegende Problemstellung über keine separable Zielfunktion verfügt. Nehmen wir des weiteren die Steigerungsrate der Rechenzeiten von 40,95 %, wie sie sich im Zuge des Übergangs von Fall Nr. 9 zu Beispiel Nr. 10 ergibt, etwas genauer unter die Lupe, so kann einmal mehr von einem unterproportionalen, oder, präziser gesagt, von einem leicht unterproportionalen Zuwachs der Verarbeitungszeiten im Verhältnis zur Wachstumsrate der Problemumfänge (+ 54,51 %) gesprochen werden. Beziehen wir eine äquivalente Aussage indes auf eine entsprechende Zuwachsrate der initiierten Iterationsschritte (+ 37,19 %) oder die korrespondierende Wachstumsrate der durchgeführten Funktionsbewertungen (+ 33,87 %), so kehrt sich die ursprünglich festgestellte Evolutionscharakteristik der Verarbeitungszeiten in ihr Gegenteil. In summa glauben wir uns zumindest annähernd auf einer sicheren Seite befindlich, wenn wir sagen, daß sich der Anstieg der via Fortran-V erzielbaren Rechenzeiten [CPU-Min] in etwa proportional zur Zuwachsrate der zu bewältigenden Problemdimensionen verhält. Dies gilt umso mehr, als die Folgenwerte der $\frac{ET}{IT}$ [CPU-Min] sowie der $\frac{ET}{AFE}$ bezüglich der Testbeispiele Nr. 7 bis Nr. 10 eine leicht degressiv zunehmende Parameterkonstellation bilden. In Anbetracht der Tatsache, daß die hierbei erzielten Zuwächse auf außergewöhnlich niedrigen Niveaus liegen, muß auch der Fortran-V-Version des hier im Teststadium befindlichen Augmented-Lagrangian eine außerordentlich hohe Wirksamkeit bescheinigt werden, welche sich in einer intensiven Nutzung der zugeteilten CPU-Zeiten dokumentiert. Diese Aussage ist umso höher einzustufen, als sie auch im Zuge der Handhabung großvolumiger Problemstellungen uneingeschränkte Gültigkeit beanspruchen kann.

Wenn man schließlich bedenkt, daß die hier zur Debatte stehenden Anwendungsbeispiele via Batch-Processing abzuwickeln sind, kann auch die zur mathematischen Bewältigung des Testfalls Nr. 11 erforderliche Verarbeitungszeit als durchaus verkraftbar eingestuft werden. Tatsächlich muß der EDV-mäßige Mehraufwand bezüglich des zehnten Testbeispiels in Höhe von 21,427 CPU-Minuten, entsprechend einer Steigerungsrate von 25,82 %, als durchaus angemessen und vertretbar angesehen werden, wenn man an die mit der Einführung einer kubischen Erklärungshypothese verbundene, erhebliche Verkomplizierung der Modellstruktur denkt. Trotzdem stellt diese zusätzlich aufzuwendende Rechenzeit einen nicht unbeträchtlichen Mehrkostenfaktor dar, wenn in Betracht gezogen wird, daß eine CPU-Minute hier im Hause mit etwa 13.- DM zu Buche schlägt. Des weiteren kann im Rahmen der Ausführungen des Kapitels 4.1.1. deutlich aufgezeigt werden, daß die lineare Spezifikation der Systemfunktionen $F_{jt} := F_{jt}(AH_{jt})$ einer entsprechenden Approximation zweiten Grades in jedem Falle ebenbürtig, wenn nicht gar in der Summe aller Eigenschaften überlegen ist. Mithin kann auf den Ansatz kubischer Elemente in der Erklärungshypothese unseres strategischen Entscheidungskalküls getrost verzichtet werden. -

Nach dieser kritischen Würdigung der hier präsentierten Testergebnisse ist nun zusammenfassend festzuhalten, daß unser Modellsystem zur strategischen Fertigungs- und Investitionsprogrammplanung in einer höchst effizienten Weise zur Auswertung gelangen kann und somit arbeits- und implementierungsfähig ist. In diesem Zusammenhange ist darauf hingewiesen, daß zur vollständigen modellmäßigen Auswertung einer nichtlinearen Problemstellung des Umfanges (460 Entscheidungsvariablen x 666 Restriktionen) lediglich

die angemessene Zeitspanne von 82,975 CPU-Minuten erforderlich war. Wie bereits des Öfteren hervorgehoben, ist dieses wie auch andere hervorragende Testergebnisse (vgl. Testbeispiele Nr. 7 und Nr. 8 der Abb. 15) zu einem Löwenanteil auf die besondere Effektivität und Leistungsfähigkeit des von uns verwendeten Augmented-Lagrangian nach Pierre-Lowe zurückzuführen. Es war indes unsere Aufgabe, eine bereits vorliegende Fortran-V-Version dieses nicht-linearen Optimierungsverfahrens vermöge einer Reihe von effizienzsteigernden Maßnahmen derartig auf Vordermann zu bringen, daß die von uns zitierten, außergewöhnlichen Ergebnismerkmale letztendlich realisiert werden konnten.

3.3.4. Aufbereitung der Datenstruktur des strategischen Entscheidungsmodells für die Zwecke einer mathematischen Auswertung mittels der Fortran-V-Version des Augmented-Lagrangian nach Pierre-Lowe

Eingangs sei zunächst darauf hingewiesen, daß sich die Ausführungen dieses, sowie des nachfolgenden Abschnittes auf die in Kapitel 2.3.3.1.4. gegebene, zusammenfassende Darstellung der erweiterten Version des strategischen Entscheidungsmodells mit dynamisierten Parameterwerten und zusätzlichen Korrekturfaktoren beziehen werden. Mithin werden die in Kapitel 2.3.3.2. erläuterten Möglichkeiten einer sinnvollen Einschränkung der zu bewältigenden Problemdimensionen, mit Ausnahme des Verzichts auf die Nichtnegativitätsrestriktionen für die Infrastrukturkomponenten INV_{kt}^m ($\forall (t,k,m)$), von den nun folgenden Betrachtungen suspendiert. Dies ist zu begründen mit der Tatsache, daß die hier lancierten Aussagen in analoger Weise auf die mit reduzierten Problemstellungen operierende Version des strate-

gischen Modellsystems übertragbar sind. Wir wollen uns daher nicht in wiederholenden Darstellungen erschöpfen, sondern nur darauf hinweisen, daß die nachfolgend beschriebenen Maßnahmen der Datenaufbereitung in praxi auch für die zuletzt genannte Version des strategischen Entscheidungsmodells initiiert worden sind.

Wie bereits im Rahmen der Erörterungen des Abschnittes 3.3.1. klargestellt, ist die Arbeitsweise des hier verwendeten Augmented-Lagrangian nach Pierre-Lowe auf die Maximierung nichtlinearer Zielfunktionen unter Beachtung solcher Restriktionen abgestimmt, welche entweder Gleichheitsrelationen, oder aber Ungleichheitsbeziehungen der Gestalt

$$q(x) \leq b \quad \text{repräsentieren, wobei}$$

$b \in \mathbb{R}$ sowie $q(x)$ eine beliebige, (nicht-)lineare Funktion in $x := (x_1, \dots, x_n)$ sei. Mithin ist es an der Zeit, unser strategisches Entscheidungskalkül, welches bekanntlich die Bereitstellung der seitens der Produkt-Markt-Strategie vorgesehenen Stückzahlen der einzelnen Modellreihen zu minimalen Kosten propagiert, einer dementsprechenden strukturellen Transformation zu unterziehen. Es gelte somit

$$\begin{aligned} \text{Max}_{\text{AH}_{jt}, \text{INV}_{kt}^m} (-K) = & - \sum_{t=1}^T \left[\sum_{j=1}^J \text{tf}_{jt} \cdot \left\{ \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K p_{it}^{jk} \cdot w_{it}^{jk} \cdot s_{it} \right. \right. \\ & \left. \left[-b_{jt} \text{AH}_{jt}^2 + (1-a_{jt} + b_{jt}) \text{AH}_{jt} + a_{jt} \right] \right\} \\ & + \sum_{k=1}^K \left\{ (1 + c_{kt}^a + \sum_{i=1}^I c_{kt}^i) \cdot \left[\sum_{m=1}^{M-1} \frac{1}{m} \sum_{t=t-m+1}^t \text{APT}_{kt}^m \cdot \right. \right. \\ & \left. \left. \cdot \text{INV}_{kt}^M + -1 \sum_{t=t-M+1}^t \text{APT}_{kt}^M \cdot \text{INV}_{kt}^M \right] \right\} \\ & \left. + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I p_{kt}^{ij} \right] \end{aligned}$$

C.C.

(1) Kapazitätsdimensionierung

$$- \sum_{t=t-m+1}^t APT_{kt}^m \cdot INV_{kt}^m + (\alpha_k^m + \beta_{kt}^m \cdot AI_{kt}^m) \left[\sum_{j=1}^J t f_{jt} \cdot AH_{jt} \cdot \sum_{i=1}^I p_{it}^{jk} \cdot w_{it}^{jk} \cdot s_{it} \right] \leq 0, \quad \forall (t, k, m)$$

(2) Budgetierung

$$\sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M APT_{kt}^m \cdot INV_{kt}^m - INVB_t \leq 0, \quad \forall t$$

(3) A-priori-Limitation der Autarkiegrade

$$(3.1.) \quad - AH_{jt} \leq - AHU_{jt}, \quad \forall (j, t)$$

$$(3.2.) \quad AH_{jt} \leq AHO_{jt}, \quad \forall (j, t)$$

mit $i = 1, \dots, I$ ($I = 4$); $j = 1, \dots, J$ ($J = 20$); $k = 1, \dots, K$ ($K = 10$);
 $m = 1, \dots, M$ ($M = 7$); $t = 1, \dots, T$ ($T = 6$).

Nachfolgend gilt es nun, die oben präsentierte Modellstruktur mit Datenmaterial zu füllen. Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß es uns aus Gründen des innerbetrieblichen Datenschutzes leider verwehrt bleibt, in diesem Zusammenhange auf die Lösung eines aktuellen Entscheidungsproblems (wegen der hiermit verbundenen Offenlegung gültiger Plandaten des Unternehmens) zu recurrieren. Wir sind der Meinung, daß dieser Umstand der Aussagekraft unserer diesbezüglichen Analysen keinen Abbruch tut.

Aus den genannten Gründen sind wir nun angehalten, unser Modell mit geeigneten Spieldaten zu "füttern". Zu diesem Zwecke wollen wir sowohl für die Zielfunktionskoeffizienten, als auch für die additiven und multiplikativen Parameter des Restriktionssystems entsprechende Zufallszahlen

ziehen. Selbstverständlich werden wir uns hierbei des Zufallszahlengenerators der problemorientierten Programmiersprache Fortran-V bedienen. Es scheint jedoch empfehlenswert, der Erzeugung dieser "random numbers" eine analytische Phase der exakten mathematischen Spezifizierung der Elemente aller Koeffizientenmatrizen vorzuschalten. Hieraus erhoffen wir uns ganz wesentliche Informationen für die Generation eines sinnvollen, möglichst realitätsgetreuen Inputdatenspektrums. Diese Aufgabe betrachten wir nur dann als erfüllt, wenn ein unvoreingenommener Betrachter dieses Datenmaterials die spontane Äußerung macht, daß eine reale Entscheidungssituation der betrieblichen Praxis so oder ähnlich beschrieben werden könnte. Es ist ein offenes Geheimnis, daß eine solche Zielsetzung vermöge einer adäquaten Restrangierung der Zufallszahlenziehungen realisiert werden kann.

Im folgenden werden wir eine reduzierte Form unseres weiter oben veranschaulichten Maximierungskalküls zugrundelegen. Hierdurch erreichen wir eine sehr übersichtliche Darstellung der relevanten Elementarbausteine aller betrachteten Koeffizientenmatrizen. Bekanntlich haben wir im Zuge der Formulierung des hier zur Debatte stehenden strategischen Modellsystems eine lineare Spezifikation der Fremdbezugskostenkorrekturfunktionen F_{jt} ($\star$ (j, t)) gewählt. Daher können wir die per Zufallsmechanismus zu belegenden Systemparameter etwa folgender Grobgliederung unterwerfen:

- Multiplikative Konstanten der quadratischen Glieder ("quadratische Koeffizienten"),
- Koeffizienten der linearen Glieder ("lineare Koeffizienten"), sowie
- echt additive Konstanten ("konstante Koeffizienten").

Es gelte nun

I = 2, J = 2, K = 2, M = 2 und T = 1.

Dann ergibt sich (-K) zu

$$\begin{aligned}
 (-K) = & - \text{tf}_{11} \cdot \left\{ p_{11}^{11} \cdot w_{11}^{11} \cdot S_{11} \cdot \left[-b_{11} (AH_{11})^2 + \right. \right. \\
 & \left. \left. + (1-a_{11}+b_{11}) AH_{11} + a_{11} \right] + \right. \\
 & + p_{11}^{12} \cdot w_{11}^{12} \cdot S_{11} \cdot \left[-b_{11} (AH_{11})^2 + \right. \\
 & \left. \left. + (1-a_{11}+b_{11}) AH_{11} + a_{11} \right] + \right. \\
 & + p_{21}^{11} \cdot w_{21}^{11} \cdot S_{21} \cdot \left[-b_{11} (AH_{11})^2 + \right. \\
 & \left. \left. + (1-a_{11}+b_{11}) AH_{11} + a_{11} \right] + \right. \\
 & \left. + p_{21}^{12} \cdot w_{21}^{12} \cdot S_{21} \cdot \left[-b_{11} (AH_{11})^2 + \right. \right. \\
 & \left. \left. + (1-a_{11}+b_{11}) AH_{11} + a_{11} \right] \right\} - \\
 & - \text{tf}_{21} \cdot \left\{ p_{11}^{21} \cdot w_{11}^{21} \cdot S_{11} \cdot \left[-b_{21} (AH_{21})^2 + \right. \right. \\
 & \left. \left. + (1-a_{21}+b_{21}) AH_{21} + a_{21} \right] + \right. \\
 & + p_{11}^{22} \cdot w_{11}^{22} \cdot S_{11} \cdot \left[-b_{21} (AH_{21})^2 + \right. \\
 & \left. \left. + (1-a_{21}+b_{21}) AH_{21} + a_{21} \right] + \right. \\
 & + p_{21}^{21} \cdot w_{21}^{21} \cdot S_{21} \cdot \left[-b_{21} (AH_{21})^2 + \right. \\
 & \left. \left. + (1-a_{21}+b_{21}) AH_{21} + a_{21} \right] + \right. \\
 & \left. + p_{21}^{22} \cdot w_{21}^{22} \cdot S_{21} \cdot \left[-b_{21} (AH_{21})^2 + \right. \right. \\
 & \left. \left. + (1-a_{21}+b_{21}) AH_{21} + a_{21} \right] \right\} -
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & - \left\{ (1 + c_{11}^a + c_{11}^1 + c_{11}^2) \left[(APT_{11}^1 \cdot INV_{11}^1) + \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. + \frac{1}{2} (APT_{10}^2 \cdot INV_{10}^2 + APT_{11}^2 \cdot INV_{11}^2) \right] + \right. \\
 & \quad \left. + (1 + c_{21}^a + c_{21}^1 + c_{21}^2) \left[(APT_{21}^1 \cdot INV_{21}^1) + \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. + \frac{1}{2} (APT_{20}^2 \cdot INV_{20}^2 + APT_{21}^2 \cdot INV_{21}^2) \right] \right\} - \\
 & - (pg_{11}^{11} + pg_{11}^{21} + pg_{11}^{12} + pg_{11}^{22} + pg_{21}^{11} + pg_{21}^{21} + pg_{21}^{12} + pg_{21}^{22}).
 \end{aligned}$$

Hieraus resultiert nach einigen Umformungen:

$$\begin{aligned}
 (-K) = & - tf_{11} \left[-b_{11} (AH_{11})^2 + (1-a_{11}+b_{11}) AH_{11} + a_{11} \right] \cdot \\
 & \cdot \left\{ p_{11}^{11} \cdot w_{11}^{11} \cdot s_{11}^{11} + p_{11}^{12} \cdot w_{11}^{12} \cdot s_{11}^{12} + \right. \\
 & \quad \left. + p_{21}^{11} \cdot w_{21}^{11} \cdot s_{21}^{11} + p_{21}^{12} \cdot w_{21}^{12} \cdot s_{21}^{12} \right\} - \\
 & - tf_{21} \cdot \left[b_{21} (AH_{21})^2 + (1-a_{21}+b_{21}) AH_{21} + a_{21} \right] \cdot \\
 & \cdot \left\{ p_{11}^{21} \cdot w_{11}^{21} \cdot s_{11}^{21} + p_{11}^{22} \cdot w_{11}^{22} \cdot s_{11}^{22} + \right. \\
 & \quad \left. + p_{21}^{21} \cdot w_{21}^{21} \cdot s_{21}^{21} + p_{21}^{22} \cdot w_{21}^{22} \cdot s_{21}^{22} \right\} - \\
 & - \left\{ (1 + c_{11}^a + c_{11}^1 + c_{11}^2) \cdot APT_{11}^1 \cdot INV_{11}^1 + \right. \\
 & \quad + \frac{1}{2} (1 + c_{11}^a + c_{11}^1 + c_{11}^2) \cdot APT_{10}^2 \cdot INV_{10}^2 + \\
 & \quad + \frac{1}{2} (1 + c_{11}^a + c_{11}^1 + c_{11}^2) \cdot APT_{11}^2 \cdot INV_{11}^2 + \\
 & \quad + (1 + c_{21}^a + c_{21}^1 + c_{21}^2) \cdot APT_{21}^1 \cdot INV_{21}^1 + \\
 & \quad + \frac{1}{2} (1 + c_{21}^a + c_{21}^1 + c_{21}^2) \cdot APT_{20}^2 \cdot INV_{20}^2 + \\
 & \quad \left. + \frac{1}{2} (1 + c_{21}^a + c_{21}^1 + c_{21}^2) \cdot APT_{21}^2 \cdot INV_{21}^2 \right\} -
 \end{aligned}$$

$$- (pg_{11}^{11} + pg_{11}^{21} + pg_{11}^{12} + pg_{11}^{22} + pg_{21}^{11} + pg_{21}^{21} + pg_{21}^{12} + pg_{21}^{22}) \cdot$$

Wir definieren

$$ws_{11} := p_{11}^{11} \cdot w_{11}^{11} \cdot s_{11} + p_{11}^{12} \cdot w_{11}^{12} \cdot s_{11} + p_{21}^{11} \cdot w_{21}^{11} \cdot s_{21} + \\ p_{21}^{12} \cdot w_{21}^{12} \cdot s_{21}$$

$$ws_{21} := p_{11}^{21} \cdot w_{11}^{21} \cdot s_{11} + p_{11}^{22} \cdot w_{11}^{22} \cdot s_{11} + p_{21}^{21} \cdot w_{21}^{21} \cdot s_{21} + \\ p_{21}^{22} \cdot w_{21}^{22} \cdot s_{21}$$

$$inv_{11} := (1 + c_{11}^a + c_{11}^1 + c_{11}^2)$$

$$inv_{21} := (1 + c_{21}^a + c_{21}^1 + c_{21}^1)$$

und erhalten:

$$\begin{aligned} (-K) = & + tf_{11} \cdot ws_{11} \cdot b_{11} (AH_{11})^2 - tf_{11} \cdot ws_{11} (1-a_{11}+b_{11}) AH_{11} - \\ & - tf_{11} \cdot ws_{11} \cdot a_{11} + tf_{21} \cdot ws_{21} \cdot b_{21} (AH_{21})^2 - \\ & - tf_{21} \cdot ws_{21} (1-a_{21}+b_{21}) AH_{21} - tf_{21} \cdot ws_{21} \cdot a_{21} - \\ & - inv_{11} APT_{11}^1 INV_{11}^1 - \frac{1}{2} inv_{11} \cdot APT_{10}^2 \cdot INV_{10}^2 - \\ & - \frac{1}{2} inv_{11} \cdot APT_{11}^2 \cdot INV_{11}^2 - inv_{21} APT_{21}^1 \cdot INV_{21}^1 - \\ & - \frac{1}{2} inv_{21} \cdot APT_{20}^2 \cdot INV_{20}^2 - \frac{1}{2} inv_{21} \cdot APT_{21}^2 \cdot INV_{21}^2 - \\ & - pg_{11}^{11} - pg_{11}^{21} - pg_{11}^{12} - pg_{11}^{22} - pg_{21}^{11} - pg_{21}^{21} - pg_{21}^{12} - pg_{21}^{22} \end{aligned}$$

Somit sind wir in der Lage, die Zielfunktionskoeffizienten der Infrastrukturkonzeptionen AH_{jt} ($\star(j,t)$) sowie INV_{kt}^m

$\mathcal{V}(t, k, m)$), streng geordnet nach deren jeweiliger Zugehörigkeit zu den weiter oben spezifizierten polynomialen Graden, einer relativ genauen Abschätzung zu unterziehen. Wir beginnen mit den Entscheidungsvariablen der Gattung AH_{jt} ($\mathcal{V}(j, t)$) und halten fest:

Die quadratischen Glieder $(AH_{jt})^2$ erhalten $\mathcal{V}(j, t)$ den Koeffizienten q_{AH}^{jt} , mit

$$q_{AH}^{jt} = t f_{jt} w s_{jt} b_{jt}.$$

Des weiteren sind die linearen Glieder AH_{jt} ($\mathcal{V}(j, t)$) mit den Faktoren l_{AH}^{jt} zu vervielfachen, wobei

$l_{AH}^{jt} := - t f_{jt} w s_{jt} (1 - a_{jt} + b_{jt})$. Schließlich ergeben sich die Koeffizienten k_{AH}^{jt} der konstanten Glieder $(AH_{jt})^0$ zu

$$k_{AH}^{jt} = - t f_{jt} w s_{jt} a_{jt}, \quad \mathcal{V}(j, t).$$

Das System $(-K)$ ist dann und nur dann einer ökonomisch sinnvollen Lösung zugänglich, wenn gilt:

$$(-K) \leq 0$$

Den Ausführungen des zweiten Hauptkapitels entnehmen wir, daß die nachfolgenden Ungleichheitsbeziehungen erfüllt sind:

a) Die Koeffizienten der ausschließlich in linearer Form auftretenden Infrastrukturkonzeptionen

INV_{kt}^m nehmen $\mathcal{V}(t, k, m)$ lediglich nichtnegative Werte an:

$$l_{INV}^{tkm} := \frac{1}{m} inv_{kt} APT_{kt}^m \geq 0. \quad \text{Mit}$$

$INV_{kt}^m \geq 0$ ist daher gewährleistet, daß

$$(1) \quad - l_{INV}^{tkm} \cdot INV_{kt}^m \leq 0, \quad \mathcal{V}(t, k, m)$$

eine wahre Aussage ergibt.

Äquivalentes gilt auch für die rein additiven, konstanten Zielfunktionselemente $pg_{kt}^{ij} (\forall i, j, k, t)$:

$$(2) \quad pg_{kt}^{ij} \geq 0 \iff -pg_{kt}^{ij} \leq 0, \forall (i, j, k, t).$$

Demzufolge kann die Erfüllung der von uns geforderten Plausibilitätsbeziehung

$$(-K) \leq 0$$

in jedem Falle dann sichergestellt werden, wenn die "verschärfte" Bedingung (*)

$$(3) \quad q_{AH}^{jt} \cdot (AH_{jt})^2 + l_{AH}^{jt} \cdot AH_{jt} + k_{AH}^{jt} \leq 0$$

Platz greift.

- b) Wir wissen um die Nichtnegativität der Infrastrukturkonzeptionen AH_{jt} , $\forall (j, t)$, und können daher die nachfolgenden äquivalenten Transformationen der Beziehung (*) durchführen:

$$(*'): tf_{jt} \cdot ws_{jt} \cdot b_{jt} \cdot (AH_{jt})^2 - tf_{jt} \cdot ws_{jt} \cdot (1 - a_{jt} + b_{jt}) \cdot AH_{jt} - tf_{jt} \cdot ws_{jt} \cdot a_{jt} \leq 0 \quad / : (tf_{jt} \cdot ws_{jt}),$$

wobei in jedem Falle vorausgesetzt werden kann:

$$(4) \quad ws_{jt} > 0 \wedge tf_{jt} > 0, \forall (j, t)$$

Es gilt daher

$$(*''): b_{jt} \cdot (AH_{jt})^2 - (1 - a_{jt} + b_{jt}) \cdot AH_{jt} - a_{jt} \leq 0 \iff$$

$$b_{jt} \cdot (AH_{jt})^2 - AH_{jt} + a_{jt} \cdot AH_{jt} - b_{jt} \cdot AH_{jt} - a_{jt} \leq 0 \iff$$

$$\begin{aligned}
 b_{jt} \left[(AH_{jt})^2 - AH_{jt} \right] - AH_{jt} + a_{jt} AH_{jt} - a_{jt} &\leq 0 \iff \\
 b_{jt} AH_{jt} \cdot (AH_{jt} - 1) + AH_{jt} (a_{jt} - 1) - a_{jt} &\leq 0 \quad | \cdot (-1) \iff \\
 b_{jt} AH_{jt} (1 - AH_{jt}) + AH_{jt} (1 - a_{jt}) + a_{jt} &\geq 0 \iff \\
 b_{jt} AH_{jt} (1 - AH_{jt}) \geq AH_{jt} (a_{jt} - 1) - a_{jt} &\quad | : AH_{jt} \cdot (1 - AH_{jt}),
 \end{aligned}$$

wobei $AH_{jt} (1 - AH_{jt}) \geq 0$ in jedem Falle sichergestellt ist (vgl. Kapitel 2.3.3.1.). Führt man lediglich zum Zwecke der Umgehung einer Division durch Null die Zusatzannahme

$$(5) \quad AH_{jt} \in (0; 1), \quad \forall (j, t), \quad \text{ein,}$$

so ergibt sich (*) zu

$$(*): \quad b_{jt} \geq \frac{AH_{jt} (a_{jt} - 1) - a_{jt}}{AH_{jt} (1 - AH_{jt})}$$

Hieraus wird offenbar, daß zum Zwecke der Gewährleistung der Plausibilität des Parameterspektrums unserer Erklärungshypothese $\forall (j, t)$ zu fordern ist:

$$b_{jt} \geq \max_{AH_{jt}} \frac{AH_{jt} (a_{jt} - 1) - a_{jt}}{AH_{jt} (1 - AH_{jt})}, \quad \text{für}$$

$$\forall (j, t) \text{ mit } a_{jt} > 0 \text{ und fest}$$

(vgl. hierzu Kapitel 2.3.1.1.).

Wir berechnen $\left(\frac{AH_{jt} (a_{jt} - 1) - a_{jt}}{AH_{jt} (1 - AH_{jt})} \right)'$ und setzen diese

Differentialquotienten gleich Null, um die notwendige Bedingung für die Optimalität des obigen Ausdrucks herzuleiten:

Mithin können wir im Rahmen der zufallsgesteuerten Generation der Parameterkonfigurationen unserer Erklärungshypothese stets dann eine hinreichende ökonomische Plausibilität dieser Wertekonstellationen sicherstellen, wenn die Erfüllung der

- unter a) und b) aufgeführten Ungleichheitsbeziehungen (1) bis (5) durch die Formulierung entsprechender Ziehungsvorschriften gewährleistet wird. Weiterhin ist das konstante Element a_{jt} der Fremdbezugskostenkorrekturfunktionen F_{jt} dem Körper der positiven reellen Zahlen zu entnehmen ($a_{jt} > 0, \forall (j,t)$). Sodann müssen die ersten Ableitungen b_{jt} dieser Funktionen $\forall (j,t)$ so bestimmt werden, daß

$$- b_{jt} \geq \frac{AH_{jt}^{\text{Max}} (a_{jt}^{-1}) - a_{jt}}{AH_{jt}^{\text{Max}} (1 - AH_{jt}^{\text{Max}})} \text{ gilt } (\forall (m,t)).$$

Diese Beziehung ist bei Verwendung von Datenspektren, welche der betrieblichen Realität entstammen, selbstverständlich automatisch erfüllt (vgl. hierzu Kapitel 2.3.1.1. sowie 4.1.1.).

Des weiteren muß im Zuge des Ziehungsprozesses dafür Sorge getragen werden, daß art- bzw. wesensgleiche Systemparameter mit solchen Wertzuweisungen zu bedienen sind, welche in etwa derselben Größenordnung zugehörig sind. Dies will lediglich besagen, daß beispielsweise zwischen den Kostenwerten ws_{11} sowie ws_{21} keine Welten liegen sollten, um es einmal umgangssprachlich auszudrücken. Es ist dies ein Beitrag zur Harmonisierung der Inputdatenkonfigurationen, obwohl hierdurch in der Realität durchaus vorkommende "Ausreißer" kaschiert werden.

Schließlich sei darauf hingewiesen, daß wir im Rahmen der

hier beschriebenen gezielten Erzeugung eines zufälligen Spektrums von Zielfunktionskoeffizienten nicht etwa auf die realiter bereitzustellenden Umweltparameter recurrieren. Um den Ziehungsaufwand in möglichst engen Grenzen zu halten, sollen die Aktivitäten der Generation von "randoms" auf der Ebene der tf_{jt} , ws_{jt} , a_{jt} , b_{jt} ($\forall (j,t)$), inv_{kt} ($\forall (t,k)$), APT_{kt}^m ($\forall (t,k,m)$), pg_{kt}^{ij} ($\forall (i,j,k,t)$) stattfinden. Wir wollen die Ausführungen zur anwendungsorientierten Aufbereitung des Modellinputs mit der Bemerkung beschließen, daß die obigen Darlegungen bezüglich der Erzeugung realistischer Zielfunktionskoeffizienten in analoger Weise auf die Problematik der Entwicklung plausibler Koeffizientenmatrizen für den Bereich des Restriktionssystems zu übertragen sind. In diesem Zusammenhange muß insbesondere Wert gelegt werden auf die Wohlausgewogenheit der Präsenz aktiver (stringenter) und freier, d.h. mit vergleichsweise hohen Plafonds ausgerüsteter Relationen der Beschränkung des Belegungsspielraums. Alle weiteren, einschlägigen Ziehungsvorschriften können den grundlegenden Ausführungen der Kapitel 2.3.2. sowie 2.3.3. entnommen werden.

In dem nun folgenden Abschnitt wollen wir unter Zugrundelegung eines spezifischen Inputdatenspektrums eine abschließende, kritische Würdigung des Augmented-Lagrangian nach Pierre-Lowe und dessen höchst qualifizierten Beitrags zur praxiskonformen Auswertung unseres strategischen Planungssystems formulieren. Das hierbei verwendete Datenspektrum entstammt einer nach obigem Muster organisierten Zufallszahlenziehung und kann im Anhang zu dieser Studie eingesehen werden.

3.3.5. Kritische Würdigung erster Ergebnisse von Modell- auswertungen auf der Basis von "Spieldaten"

Trivialerweise bemißt sich die Implementierfähigkeit eines quantitativen Modells der (strategischen) Unternehmensplanung nicht nur nach seiner theoretisch-analytischen Brillianz, sondern vor allen Dingen auch nach seiner praktischen Umsetzbarkeit, die sich in dessen EDV-mathematischen Handhabbarkeit dokumentiert. Um letztere ist es jedoch insbesondere beim Vorliegen nichtlinearer Modellstrukturen nicht immer bestens bestellt. Dies ist zurückzuführen auf die mangelnde Verfügbarkeit effizienter und darüber hinaus wohl dokumentierter Verfahren der nichtlinearen Optimierung.

Es ist mittlerweile hinlänglich offenbar geworden, daß uns diesbezügliche Verlegenheiten erspart geblieben sind. Der zum Zwecke der mathematischen Auswertung unseres strategischen Modellsystems herangezogene Augmented-Lagrangian nach Pierre-Lowe kann sowohl in einer höchst leistungsfähigen APL-Version, als auch in der CPU-intensiveren, modifizierten Fortran-Fassung (VS. 5) Zeugnis ablegen von der außergewöhnlichen Effizienz sowie der ausgewogenen Charakteristik seiner analytischen und heuristischen Suchprozeduren. Diese Aussage kann nochmals untermauert werden kraft der Ergebnismerkmale, welche auf der Fortran-gestützten Auswertung eines Anwendungsfalles beruhen, dessen Inputdatenspektrum in Analogie zur Parameterstruktur der erweiterten Version unseres strategischen Entscheidungskalküls konzipiert worden ist (vgl. hierzu Kap. 3.3.4.). Unter Zugrundelegung des Entscheidungsraumes der Basisversion dieses Modellsystems stehen somit 540 Veränderliche zur Belegung an, wobei exakt 666 handlungsbeschränkende Relationen

zu beachten sind. Inclusive der zufälligen Erzeugung des Inputdatenspektrums konnte diese Problemstellung in genau 79,734 CPU-Minuten bewältigt werden. der Lösungsprozeß vollzog sich in 4411 Iterationsschritten bei 10991 Funktionsevaluierungen (weitere Angaben bitten wir dem Anhang zu dieser Analyse zu entnehmen). Dieses Ergebnis vermag sich in einem noch günstigeren Lichte zu präsentieren, wenn bedacht wird, daß

- die Koeffizientenmatrizen des zugrundeliegenden, nachempfundenen Entscheidungsproblems dicht besiedelt sind, sowie
- etwa 70 % aller Relationen des Restriktionssystems über außerordentlich stringente Plafonds verfügen.

Hieraus kann bedenkenlos der Schluß gezogen werden, daß sich die Fortran-V-Version des Augmented-Lagrangian nach Pierre-Lowe kraft der Wirksamkeit und Reliabilität seiner mathematischen "performance" selbst validiert hat. Dies gilt umso mehr, als

- auch im Zuge der Bewältigung des weiter oben erläuterten Anwendungsbeispiels eine zulässige Lösung generiert wurde, und
- die Infrastrukturkonzeptionen INV_{kt}^m ausnahmslos mit nichtnegativen Wertzuweisungen bedacht worden sind, obwohl man auf die modellendogene Berücksichtigung entsprechender Plausibilitätsrestriktionen nicht nur in der hier angesprochenen Testreihe Verzicht geleistet hat. Wir halten dies für einen induktiven Beweis unserer diesbezüglichen Argumentationen im Rahmen des Kapitels 2.3.3.2..
- unsere Fortran-Auswertungsroutinen die Durchführung systemgestützter Empfindlichkeitsanalysen auf der Basis von initialen Ergebnisstrukturen quantitativ modellierter strategischer Entscheidungsprobleme ermöglicht. Hier-

bei spielen die aus den jeweiligen Optimalwerten der Lagrange'schen Multiplikatoren ableitbaren Informationen eine entscheidende Rolle. Diesbezügliche Erörterungen weiterführenden Charakters bitten wir dem nachfolgenden Abschnitte zu entnehmen. -

Somit kann unserem quantitativen Modellsystem der strategischen Fertigungs- und Investitionsprogrammplanung eine vorbehaltlose Implementierfähigkeit attestiert werden. Das letzte Wort über die (Nicht-)Anwendbarkeit, respektive die Praktikabilität unseres quantitativen Planungssystems verbleibt jedoch beim Entscheidungsträger selbst. Im Vorgriff auf die einschlägigen Ausführungen des Abschnitts 4.2. sei bereits an dieser Stelle erwähnt, daß alle entscheidenden Stellen, welche künftighin vom Leistungsangebot unseres strategischen Modellsystems profitieren sollen, schon im Vorfelde der Implementierung, etwa anhand des oben dargelegten Anwendungsfalles, darüber unterrichtet worden sind, welche Informationen dieser Planungsansatz bei welchem Konkretisierungsgrad der Inputdatenkonfigurationen zu liefern vermag und welche mit Sicherheit nicht. Es darf hervorgehoben werden, daß der betroffene Personenkreis von der Entscheidungsrelevanz des besagten Informationsangebots sofort überzeugt war und höchst erfreuliche Stellungnahmen bezüglich eines baldigen, großangelegten Einsatzes unseres Entscheidungskalküls zur Lösung offener strategischer Entscheidungsprobleme im Unternehmen abgab.

3.4. Die Möglichkeiten der Durchführung "systematischer" Sensitivitätsanalysen auf der Grundlage von Initialauswertungen des strategischen Modellsystems

"Tolerance specifications are an important part of a complete solution to a practical problem, and to specify them realistically one must know how changes in the system elements influence the characteristics of the system or problem under consideration" (Pierrre-Lowe 1975). Es ist die Empfindlichkeitsanalyse, welche uns die Mittel in die Hand gibt, derartige Informationen zu gewinnen. Da wir auf die Durchführung solcher Analysen insbesondere im Bereiche der strategischen Planung großen Wert legen, wollen wir uns im Rahmen dieses Kapitels etwas eingehender mit entsprechenden Methodiken befassen.

In einem ersten Abschnitt müssen wir uns mit dem Begriff der "systemgestützten Empfindlichkeitsanalyse" auseinandersetzen. In diesem Zusammenhange gilt es auch Argumente zu entwickeln, welche pro oder contra Durchführung derartiger Untersuchungen sprechen.

In einem zweiten Abschnitt widmen wir uns dann dem System der Langrange'schen Multiplikatoren, welches als Informationslieferant zum Zwecke der Abschätzung der Sensitivität der Ergebnisstrukturen gegenüber signifikanten Variationen der Umweltparameter genutzt werden soll. Hierbei stützen wir uns zunächst auf eine höchst allgemeine, mathematische Abhandlung entsprechender Zusammenhänge. Anschließend sei auf eine Reihe von sinnvollen Ansatzpunkten zur Initiierung "systemgesteuerter" Empfindlichkeitsuntersuchungen verwiesen, wie sie für unser strategisches Modellsystem charakteristisch sind.

3.4.1. Chancen und Risiken systemgestützter Sensitivitätsanalysen

Im Zuge der Lösung mathematischer oder auch der betrieblichen Praxis entstammender Problemstellungen erhebt sich oftmals die Frage, wie sich das Tableau der optimalen Ergebnismerkmale verändert, wenn

- die Plafonds der handlungsbeschränkenden Relationen variiert werden und/oder
- bestimmte Elemente der Koeffizientenmatrizen etwa mit Unsicherheit behaftet sind und gegen andere, gleichwahrscheinliche Realisationen ausgetauscht werden.

Eine systemgestützte Empfindlichkeitsanalyse erlaubt nun die automatische Untersuchung, respektive Quantifizierung der Zuwächse (Reduktionen) an Optimalität, wenn eine derartige Variation des aktuellen Parameterkranzes der systemrelevanten Umweltfaktoren initiiert wird. Wir betrachten zunächst den letztgenannten Fall der Entscheidungsfindung unter Unsicherheit. Wenn angenommen wird, daß für ein bestimmtes Umweltparameterspektrum zwar keine hinreichend exakte Punktschätzung (-prognose) abgegeben werden kann, dafür jedoch ein hinreichend wahrscheinlicher Vertrauensbereich (Bandbreite) spezifizierbar ist, dann kann ein erster Lauf unseres strategischen Modellsystems etwa unter Zugrundelegung eines "mittleren" Szenarios gefahren werden. Anschließend sind die zur Debatte stehenden Umweltfaktoren systemintern, jedoch nur auf ausdrücklichen Wunsch des jeweils tangierten Entscheidungsträgers, etwa durch ihre pessimistischen Realisationen zu substituieren. Auf der Basis eines derartig modifizierten Inputdatenspektrums ist nunmehr ein zweiter Modelllauf zu starten mit dem Ziele der Überprüfung der (Un-)Empfindlichkeit des eingangs ermittelten Lösungstableaus bezüglich dieser zwar nicht in signifi-

kanter Weise wahrscheinlichen, jedoch durchaus im Bereiche des Möglichen liegenden, negativen Entwicklung der betrieblichen Umweltrelationen. Nach der Kenntlichmachung der etwaigen, hiermit verbundenen Optimalitätsverluste wird, ohne weiteres Zutun des betroffenen Entscheidungsträgers, ein automatischer Austausch der mit Unsicherheit behafteten Parameterkränze durch entsprechende, optimistische Merkmalswerte induziert, um vermöge eines weiteren Optimierungslaufes die Reagibilität der Ergebnisstrukturen bezüglich günstiger Entwicklungstendenzen im betrieblichen Umfeld zu quantifizieren. Schließlich wird der Entscheidungsträger über hieraus resultierende, potentielle Zuwächse an Optimalität informiert. Mithin verfügt unser Entscheidungskalkül über die vom Informationsbedürftigen wahrnehmbare Option der variablen Gestaltung der relevanten Inputdatenspektren. Der Entscheidungsträger wird somit in die Lage versetzt, ein geeignetes Risikoprofil der von ihm zu bewältigenden, realen Entscheidungssituation zu generieren. Selbstverständlich kann eine solche modellendogen erzeugte Empfindlichkeitsanalyse nur einen winzigen, ersten Schritt in Richtung umfassender Sensitivitätsbetrachtungen darstellen. Dies ist zu begründen mit der Tatsache, daß unter Vernachlässigung der kombinatorischen Vielfalt optimistischer, mittlerer sowie pessimistischer Parameterkonstellationen, stets eine gleichgerichtete Niveauvariation aller Gattungen von Umweltfaktoren unterstellt wird. Aufgründdessen bieten wir den Systembenutzern die Chance des manuellen Eingriffs in die Wertekonstellationen sämtlicher Koeffizientenmatrizen, um die Erzeugung von Risikoprofilen zu gewährleisten, die auf individuellen Überlegungen bezüglich der Plausibilität sowie der Wahrscheinlichkeit des Eintretens bestimmter Parameterszenarien basieren. Wir sind uns, in Anbetracht der naturgegebenen Trägheit mensch-

licher Verhaltensweisen, darüber im klaren, daß eine überwiegende Mehrheit der Entscheidungsträger wohl weitaus häufiger auf die Option der systemgesteuerten, automatischen Variation der mit Unsicherheit behafteten Inputdaten recurrieren werden, als sich der Mühsal der gezielten, jedoch manuell zu initiierenden Impfindlichkeitsanalyse zu unterziehen. Trotzdem sind wir der Meinung, daß dies kein ausreichender Grund für einen Verzicht auf diese systemmäßig ausgelösten Risikobetrachtungen sein kann, da es den Entscheidungsträgern weder an Informationen, noch an Erkenntnissen darüber mangelt, was ein solcher Automatismus zu leisten vermag und was nicht.

Widmen wir unsere Aufmerksamkeit nunmehr der Reagibilität von modellmäßig gewonnenen Ergebnisstrukturen bezüglich einer Variation der Plafonds bestimmter handlungsbeschränkender Relationen. Wir bezeichnen diese Reagibilität als die Sensitivität eines (nicht-)linearen Programms im engen Sinne. Ihre Quantifizierung gelingt dann in einer besonders komfortablen Weise, wenn die optimalen Realisationen von Lagrange'schen Multiplikatoren verfügbar sind. Diese Multiplikatoren besitzen die Eigenschaft, die Opportunitätskosten der Beachtung einzelner Restriktionen quantifizieren zu können, wie sie sich aufgrund des Niveaus der jeweiligen Restriktionsplafonds in der aktuellen Realisation des Zielfunktionswertes niederschlagen. Im Zuge einer angemessenen, sachlich richtigen Interpretation der Multiplikatorwerte, deren optimale Ausprägungen wir dank der Verwendung einer Augmented-Lagrangian-Technik jederzeit zur Hand haben, lassen sich ganz automatisch wertvolle Hinweise bezüglich wünschenswerter Veränderungen der Restriktionslimits erzielen (man denke etwa an eine Erweiterung der Finanzierungsspielräume). Diese Erkenntnis vermag noch

an Bedeutung zu gewinnen, wenn man in Betracht zieht, daß besagte Sensitivitätsinformationen ohne das Handikap der Durchführung zusätzlicher, kostenintensiver Modellläufe verfügbar gemacht werden können. Wir sind der Meinung, daß eine derartige Form der systemgesteuerten Empfindlichkeitsanalyse vorbehaltslos zu begrüßen ist. Dies will besagen, daß die in diesem Abschnitte weiter oben formulierten Einwände gegen die automatisierte Generation von Sensitivitäts- und Risikoprofilen hier nicht Platz greifen können. Weitergehende Informationen zu dieser Thematik bitten wir jedoch dem nachfolgenden Kapitel zu entnehmen.

3.4.2. Die Nutzung optimaler Lagrange-Multiplikatoren zur Abschätzung der Sensitivität der Entscheidungssituation gegenüber signifikanten Änderungen der Restriktionsplafonds

Eingangs ist darauf hinzuweisen, daß die optimalen Realisationen der Lagrange'schen Multiplikatoren zunächst einmal die Optimalitätsbedingungen nach Kuhn-Tucker erfüllen müssen (Einzelheiten hierzu bitten wir Pierre-Lowe (1975) zu entnehmen), um die mathematische Richtigkeit der nachfolgenden Erörterungen sicherzustellen. Zum Zwecke einer möglichst allgemeinen Veranschaulichung der Aussagekraft dieses Multiplikatorsystems werden wir die Gewinnung von Sensitivitätsinformationen zunächst losgelöst von der konkreten Modellstruktur unseres strategischen Entscheidungskalküls betreiben.

Lagrange'sche Multiplikatoren firmieren zuweilen auch unter den Termini "Opportunitätskosten" oder auch "Schat-tenpreise", weil sie in der Lage sind, für jede einzelne

Relation des Restriktionssystems denjenigen Zuwachs (Verlust) an Optimalität zu spezifizieren, welcher sich vermöge einer entsprechenden, marginalen Variation der zugehörigen Plafonds ergeben würde. Wir betrachten nun nachfolgend ein Standardproblem der nichtlinearen Optimierung der Gestalt

$$\underset{x}{\text{Max}} \quad f(x) \quad , \quad x = (x_1, \dots, x_n) \quad (1)$$

$$\text{c.c.} \quad p_i(x) = a_i \quad , \quad i = 1, 2 \dots m_1 \quad n \quad (2a)$$

$$\text{und} \quad q_j(x) \leq b_j \quad , \quad j = 1, 2 \dots m_2 \quad (2b)$$

So könnte man $f(x)$ etwa als die Ertragsfunktion eines beliebigen Produktionsprozesses betrachten. Die handlungsbeschränkenden Relationen des Systems (2a) formulieren dann die technischen Einsatzbedingungen vorgegebener Ressourcenbeträge im Zuge der Befriedigung eines fest umrissenen Bedarfs bezüglich einer bestimmten Produktlinie. Die Nebenbedingungen des Systems (3) wären hingegen geeignet zur Umschreibung der Verfügbarkeitsmodalitäten für die j -te Ressource. Kraft der Steigerung (respektive Reduktion) der im Produktionsprozeß nutzbaren Ressourcenbeträge oder auch vermöge eines entsprechend variierten Einsatzes von Betriebsmitteln und Personal könnte der mit der obigen Problemstellung befaßte Entscheidungsträger eine Verschiebung der Restriktionsplafonds um etwa die Beträge

$$\Delta a_i \quad , \quad i = 1, 2 \dots m_1 \quad \text{bezüglich des Nebenbedingungsschemas} \quad (2a),$$

$$\text{bzw.} \quad \Delta b_j \quad , \quad j = 1, 2 \dots m_2 \quad \text{bezüglich des Restriktionssystems} \quad (2b)$$

induzieren. Wenn wir einmal annehmen, daß diese Plafondvariationen zusätzliche Erträge (Kosten) in Höhe von

- π_i , $i = 1, 2 \dots m_1$, bezüglich des Systems (2a), sowie
- μ_j , $j = 1, 2 \dots m_2$, bezüglich des Systems (2b)

pro Ressourceneinheit zeitigen, so ergeben sich die Opportunitätskosten (-erträge) der Niveau-"Relaxation" zu $\pi_i \cdot \Delta a_i$ bzw. $\mu_j \cdot \Delta b_j$. In diesem Zusammenhange erhebt sich nun die folgende Fragestellung: Ist eine Bereitstellung zusätzlicher Ressourcen und/oder ein struktureller Eingriff in den Ablauf der Fertigungsprozesse in wirtschaftlicher Hinsicht lohnenswert oder nicht? Im Zuge einer hinreichend befriedigenden Beantwortung dieser Frage ist vor allen Dingen das Verhalten des Terms $f(x^* + \Delta x)$ in einer suffizient geringen Umgebung des Optimaltableaus x^* von vordergründigem Interesse, wenn eine Variation der Δa_i und Δb_j initiiert wird. Hierbei nehmen wir an, daß (x^*, α^*, β^*) die Kuhn- Tucker-Relationen erfüllen und die Ausdrücke Δx , Δa_i und Δb_j den nachfolgenden Bedingungen Genüge verschaffen:

$$p_i (x^* + \Delta x) = a_i + \Delta a_i , \quad i \in S_a \quad (3a)$$

und

$$q_j (x^* + \Delta x) = b_j + \Delta b_j , \quad j \in S_a \quad (3b)$$

wobei $S_a \equiv$ "set of active constraints" (vgl. hierzu Kapitel 3.3.1.)

sowie

$$q_j (x^* + \Delta x) < b_j + \Delta b_j , \quad j \notin S_a \quad (3c).$$

Die Termini f , p_i und q_j sind nun wie folgt zu expandieren:

$$f(x^* + \Delta x) = f(x^*) + \Delta x^T \nabla f^* + \dots \quad (4a),$$

$$p_i(x^* + \Delta x) = p_i(x^*) + \Delta x^T \nabla p_i^* + \dots \quad (4b),$$

und

$$q_j(x^* + \Delta x) = q_j(x^*) + \Delta x^T \nabla q_j^* + \dots \quad (4c),$$

wobei " + ... " die zugehörigen Terme vom Grade $|\Delta x|^k$,

$k \geq 2$, repräsentiere.

Unter Zuhilfenahme des Systems (3) können wir die Gleichheitsrelationen (4a) bis (4c) neu gestalten:

$$\Delta f = f(x^* + \Delta x) - f(x^*) = \Delta x^T \nabla f^* + \dots \quad (5a),$$

$$\Delta a_i = p_i(x^* + \Delta x) - p_i(x^*) = \Delta x^T \nabla p_i^* + \dots \quad (5b),$$

und $\Delta b_j = q_j(x^* + \Delta x) - q_j(x^*) = \Delta x^T \nabla q_j^* + \dots \quad (5c).$

Multiplizieren wir (5b) mit α_i^* , für alle i , und summieren anschließend über alle i , so erhalten wir

$$0 = \sum_{i=1}^{m_1} \alpha_i^* \Delta a_i - \Delta x^T \sum_{i=1}^{m_1} \alpha_i^* \nabla p_i^* - \dots \quad (6).$$

In analoger Weise vervielfachen wir (5c) mit β_j^* , jedoch lediglich betreffend alle $j \in S_a$, summieren über ebendiese j und erhalten

$$0 = \sum_{j \in S_a} \beta_j^* \Delta b_j - \Delta x^T \sum_{j \in S_a} \beta_j^* \nabla q_j^* - \dots \quad (7).$$

Nunmehr sind wir in der Lage (5a), (6) sowie (7) zu nachfolgendem Terminus zusammenzufassen:

$$\Delta f = \Delta x^T \left[\nabla f^* - \sum_{i=1}^{m_1} \alpha_i^* \nabla p_i^* - \sum_{j \in S_a} \beta_j^* \nabla q_j^* \right] + v \quad (8).$$

mit $v = \sum_{i=1}^{m_1} \alpha_i^* \Delta a_i + \sum_{j \in S_a} \beta_j^* \Delta b_j + \epsilon(|\Delta x|^2)$, wobei

$\epsilon(|\Delta x|^2)$ den Gesamteffekt aller Termini des Grades $|\Delta x|^k$, $k \geq 2$, zum Ausdruck bringe.

Es ist darauf hinzuweisen, daß der Ausdruck $[\quad]$ in (8) mit

dem Gradienten ∇L^* der Lagrange-Funktion L in x^* identisch sein muß. Des weiteren ist bekannt, daß stets

$$\nabla L^* = 0$$

gelten muß, um die Erfüllung der Kuhn-Tucker-Relationen zu (x^*, α^*, β^*) sicherzustellen. Demzufolge können wir aus dem System (8) das von uns angestrebte Resultat

$$\Delta f = \sum_{i=1}^{m_1} \alpha_i^* \Delta a_i + \sum_{j \in S_a} \beta_j^* \Delta b_j + \epsilon (|\Delta x|^2) \quad (9)$$

ableiten. Wenn die Δa_i und Δb_j betragsmäßig hinreichend klein sind, so daß die hieraus resultierenden Schritte Δx in einer hinreichend kleinen Umgebung von x^* induziert werden, dann kann $\epsilon (|\Delta x|^2)$ in (9) vernachlässigt werden. Somit variiert Δf direkt mit den Beträgen $\alpha_i^* \Delta a_i$ sowie $\beta_j^* \Delta b_j$.

Da die Lagrange'schen Multiplikatoren wegen der Kuhn-Tucker-Bedingungen stets der Beziehung

$$\beta_j \geq 0, \quad j \in \{1, 2 \dots m_2\},$$

Rechnung tragen müssen, können wir von einer positiven Korrelation zwischen $f(x^* + \Delta x)$ ($\equiv$ Optimalitätszuwachs oder -verlust) und Δb_j (Betrag der "Relaxation" respektive "Verschärfung" der jeweiligen Plafonds) sprechen. Die Multiplikatoren α_i^* unterliegen indessen keiner Vorzeichenbeschränkung, so daß im Zuge der Interpretation des Zusammenhangs zwischen $f(x^* + \Delta x)$ erhöhte Vorsicht am Platze sein muß. In Anbetracht der Tatsache, daß die Modellstruktur unseres strategischen Entscheidungskalküls über

keinerlei Gleichheitsrelationen verfügt, kann von einer weitergehenden Erörterung dieser Problematik abstrahiert werden.

Wir sind nun in der Lage, die eingangs gestellte Frage nach der Rentabilität insbesondere einer Erweiterung des durch die Restriktionen beschränkten Handlungsspielraums wie folgt zu beantworten: Unter der Voraussetzung hinreichend kleiner Δa_i bzw. Δb_j ergeben sich die hiervon induzierten Zuwächse (Verluste) an Optimalität durch die Berechnung der Differenzen

$$(\pi_i - \alpha_i^*) \text{ respektive } (\mu_j - b_j^*) .$$

Dieses Ergebnis kann zur Gewinnung entsprechender, tendenzieller Informationen herangezogen werden, wenn die Hauptbedingung genügend kleiner Variationsniveaus nicht eingehalten werden kann, was im Zuge der Lösung praktischer Problemstellungen wohl unvermeidbar ist. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, daß die Abschätzung der Optimalitätswirkung relativ großer Relaxationsbeträge unter Zugrundelegung des oben dargestellten Zusammenhangs ebenso gut zu gegenteiligen, als den erwarteten Ergebnissen führen kann, da der Terminus $\epsilon (|\Delta x|^2)$ in (9) für große $|\Delta x|$ keineswegs vernachlässigbar ist. Darüber hinaus muß sich die obige Kosten-Nutzen-Analyse auf solche Fälle beschränken, bei denen die Indexmenge S_a der aktiven Restriktionen in einer hinreichend kleinen Umgebung von x^* im Zuge der Variationen der a_i und b_j konstant bleibt. Großvolumige Relaxationen sind jedoch in aller Regel zur Verletzung dieser Forderung geeignet. Trotzdem sind wir, wie oben bereits angedeutet, der Meinung, daß eine systemgestützte Empfindlichkeitsanalyse auf der Basis des Sy-

stems Lagrange'scher Multiplikatoren immer dann zumindest tendenziell richtige Ergebnisse zu liefern vermag, wenn auf allzu große Niveauvariationen der Restriktionsplafonds Verzicht geleistet wird. Darüber hinaus ist zu betonen, daß eine solche Sensitivitätsbetrachtung keine quantitativ exakten Auswirkungen einer bestimmten Relaxationsmaßnahme oder eines ganzen Bündels derartiger Maßnahmen spezifizieren soll, sondern lediglich diesbezügliche, erste Hinweise mit richtungsweisendem Charakter zu vermitteln hat. -

Abschließend bleibt festzuhalten, daß die in diesem Abschnitt diskutierten Grundzüge einer multiplikatororientierten und daher systemendogen gesteuerten Empfindlichkeitsanalyse selbstverständlich in analoger Weise auf entsprechende Betrachtungen zu übertragen sind, die sich mit den Sensitivitätseigenschaften des Optimaltableaus unseres strategischen Modellsystems auseinandersetzen. In diesem Zusammenhange ist natürlich die Untersuchung der Reagibilität der optimalen Systemzustände auf (hinreichend kleine) Variationen der periodenspezifischen Investitionsbudgets ($INVB_t$) von gesteigertem Interesse. Freilich würde sich auch eine Analyse entsprechender Wirkungszusammenhänge empfehlen, welche auf (hinreichend geringe) Veränderungen der im Unternehmen auf lange Sicht anzustrebenden, ko-gruppenspezifischen Autarkiegrade, respektive deren äußerstenfalls tolerierbaren Unter- und Obergrenzen AHU_j sowie AHO_j ($j = 1, \dots, J$) zurückgehen. Zur modellendogenen Handhabung derartiger Betrachtungen sind jedenfalls alle Voraussetzungen geschaffen worden.

4. DER EINSATZ DES STRATEGISCHEN MODELLSYSTEMS IN DER BETRIEBLICHEN PRAXIS

Widmen wir uns gleich zu Beginn dieses Kapitels der Problematik der Erhebung des Inputdatenspektrums, wie wir es zur Bewältigung real auftretender Problemstellungen benötigen. Es gilt in diesem Zusammenhange eine Strukturierung der zu spezifizierenden Parameterkonfigurationen nach Datenarten durchzuführen, um eine problemlose Identifikation der korrespondierenden Datenbereitstellungsquellen zu ermöglichen. Selbstverständlich werden wir es auch nicht versäumen, Hinweise zu geben bezüglich der Anlage und Durchführung einer geschichteten Stichprobe aus einer fest umrissenen Kategorie von Vorprodukten, welche uns eine adäquate Belegung der Kostenparameter w_{it}^{jk} ($w(t,j,k,i)$) gestattet. Ein weiterer Aspekt der in diesem Abschnitt darzulegenden Erörterungen betrifft die Notwendigkeit einer permanenten Speisung unseres strategischen Modellsystems mit den zu seiner fortwährenden Aktivierung erforderlichen Datenmaterialien. Wir werden dieser Forderung vermöge der Definition geeigneter Schnittstellen zu vorgelagerten Informationssystemen und Datenbanken Rechnung tragen.

In einem zweiten großen Abschnitt werden wir uns mit angemessenen Maßnahmen zu einer möglichst benutzerfreundlichen Ausgestaltung unseres strategischen Entscheidungskalküls auseinandersetzen. Es handelt sich hierbei vor allen Dingen um Fragen der Generation eines komfortablen Modelldesigns, um potentiellen Akzeptanzproblemen bereits im Vorfeld der Implementierung wirksam zu begegnen.

Der letzte Abschnitt dieses Kapitels diene schließlich der Zusammenführung der in dieser Studie präsentierten, stra-

tegischen Planungsansätze mit den im Unternehmen bereits hinreichend erprobten, operativen Planungssystemen zu einem integrativen, hierarchisch strukturierten Konzept der Fertigungs- und Investitionsprogrammplanung. Selbstverständlich soll in diesem Zusammenhange auch eine knappe Beschreibung des operativen Planungsmodells einer wirtschaftlichen Teilefertigung erfolgen.

4.1. Die Erhebung der Modellparameter

Bereits der Titel dieses Abschnitts macht in hinreichender Weise deutlich, daß Aktivitäten der Erhebung (Bereitstellung) von Inputdaten unter Umständen (und in praxi tatsächlich sehr häufig) mit der Notwendigkeit verbunden sein können, die realen Werte bestimmter Modellparameter (approximativ) zu schätzen bzw. zu prognostizieren. Dies muß trivialerweise immer dann geschehen, wenn es um die Beschaffung von Zieldaten geht, mithin um die Ermittlung der Realisationen bestimmter, zum Zeitpunkt $t = 0$ verfügbarer Rohdaten, wie sie in $t = \hat{t}$ ($\hat{t} = 1, 2 \dots T$) mit größter Wahrscheinlichkeit der Realität entsprechen werden.

Die Aktivitäten der Schätzung und Prognose von systemrelevanten Umweltfaktoren nehmen also ihren Anfang mit der Erfassung (praktisch) verfügbarer Daten (wobei zusätzliche Neuerhebungen a-priori nicht auszuschließen sind), deren zielgerichteter (Re-)Organisation und zweckdienlicher Aufbereitung.

Wir übertragen nun diese Informationen von allgemeinem Erkenntniswert auf unsere konkrete, hier zur Debatte stehende Problemstellung. Zu diesem Zwecke rufen wir uns noch

einmal die Zielsetzung ins Gedächtnis zurück, welche die Entwicklung unseres strategischen Modellsystems der Fertigungs- und Investitionsprogrammplanung in entscheidendem Maße determiniert hat:

Es ist die Konzeption eines Fertigungs- und Beschaffungssystems zu generieren, welches die seitens der Produkt-Markt-Strategie vorgesehenen Stückzahlen der einzelnen Modellbaureihen zu minimalen Kosten bereitstellt.

Dieser Formulierung ist unzweifelhaft zu entnehmen, daß in diesbezügliche Betrachtungen in nicht unerheblichem Umfange auch Zieldaten im oben definierten Sinne eingehen müssen. Für uns bedeutet dies ganz konkret, daß uns die Initiierung oder auch selbsttätige Durchführung entsprechender Datenbeschaffungsaktivitäten nicht erspart bleibt. In diesem Zusammenhange kann vorweggenommen werden, daß wir im Falle bestimmter, nachfolgend exakt zu spezifizierender Datenarten auf zusätzliche Neuerhebungen und/oder Expertenschätzungen dringlichst angewiesen sind.

Bevor wir jedoch genauer darlegen werden, inwieweit die hier erörterten Probleme der Inputdatengewinnung einer befriedigenden Lösung zugänglich sind, müssen wir uns der Mühe unterziehen, das hier bereitzustellende Datenmaterial zunächst einmal nach der Zugehörigkeit zu verschiedenen Datenarten zu gruppieren. Weitergehende diesbezügliche Informationen bitten wir nun dem nachfolgenden, ersten Abschnitt dieses Kapitels zu entnehmen.

4.1.1. Die Klassifizierung der Systemparameter nach Datenarten sowie Aufwendigkeit der zu ihrer Beschaffung erforderlichen Schätzungen (Prognosen)

Wir müssen uns eingangs noch einmal die Frage stellen, welche Inputdaten nun eigentlich konkret zum Zwecke der Implementierung und faktischen Inbetriebnahme unseres strategischen Planungssystems bereits zustellen sind. Wir können diese Frage in suffizient zufriedenstellender Weise beantworten, wenn wir uns (synoptisch) die in Kapitel 2.3.3.1. niedergelegten Modellstrukturen der erweiterten Version unseres strategischen Modellsystems vor Augen führen, welche die in der korrespondierenden Basisversion zum Ansatz gekommenen Systemparameter ganz automatisch einschließt. Es ist in diesem Zusammenhange darauf hinzuweisen, daß die im Rahmen des Kapitels 2.3.3.2. zur Diskussion gestellten Möglichkeiten einer sinnvollen Reduktion der zu bewältigenden Problemdimensionen für die Zwecke der in diesem Abschnitt präsentierte Darlegungen außer acht gelassen werden können.

Die in der erweiterten Version unseres strategischen Entscheidungskalküls angesetzten, als ziel- und oder handlungsrelevant erachteten Umweltfaktoren bieten uns eine erste, richtungsweisende Hilfestellung, was die Erarbeitung eines minuziösen, alle Inputparameter umfassenden Lastenhefts der Datenbeschaffung anbetrifft. Somit erhebt sich nun die Frage, weswegen diese in die Modellstrukturen eingeflossenen Umweltparameter keine vollkommene Information bezüglich des Gesamtspektrums der zu evaluierenden Inputdaten liefern können. Die Antwort hierzu ergibt sich durch die Feststellung, daß die Belegungen der gleichermaßen ziel- und handlungsrelevanten Systemparameter

$$w_{it}^{jk} \quad (x^*(t, j, k, i))$$

realiter eigentlich Resultanten der bereits in Kapitel 2.3.1. beschriebenen Datentransformationen darstellen (vgl. hierzu auch Kapitel 4.1.3.), welche vor allem Informationsmaterialien der operativen Planungsbereiche verarbeiten. Des weiteren gilt eine äquivalente Aussage für die Erzeugung der rein zielrelevanten Fremdbezugskostenkorrekturfunktionen F_{jt} ($\mathcal{F}(j,t)$) (vgl. Kapitel 2.3.1.1.) sowie der rein handlungsrelevanten Zeitpfade der Anlageintensitäten $AI_{k\tau}^m$ ($V(\tau,k,m)$, $\tau \geq 0$ und stetig) (vgl. Kapitel 2.3.2.1.). Um Wiederholungen zu vermeiden, sei in diesem Zusammenhang auf eine erneute Darstellung der diesbezüglichen Datenkomponenten verzichtet.

Zur Kategorie der sowohl ziel- als auch handlungsbestimmenden Umweltfaktoren wollen wir weiterhin die Größen

- S_{it} ($\mathcal{S}(i,t)$) , - tf_{jt} ($\mathcal{F}(j,t)$) sowie
- p_{it}^{jk} ($\mathcal{P}(t,j,k,i)$) und - APT_{kt}^m ($\mathcal{A}(t,k,m)$)

zählen. Als rein zieldeterminierend wollen wir hingegen die Parameter

- c_{kt}^a ($\mathcal{C}(k,t)$) , - c_{kt}^i ($\mathcal{C}(t,k,i)$) und
- pg_{kt}^{ij} ($\mathcal{P}(t,j,k,i)$)

einstufen. Ergänzen wir das weiter oben bereits eingeführte, aber noch unvollständige Spektrum der bereitzustellenden, rein handlungsrelevanten Inputdaten um die Größen

- $INVB_t$ ($\mathcal{I}(t)$) sowie - AHU_{jt} ($\mathcal{A}(j,t)$) und
- AHO_{jt} ($\mathcal{A}(t)$) ,

so können wir die Problematik der umfassenden Abgrenzung und Beschreibung des zu erhebenden Datenmaterials als abgehackt betrachten. Zur Rekapitulation der inhaltlichen Di-

mensionen der hier aufgeführten Parameterkränze sei dabei auf die einschlägigen Ausführungen des zweiten Hauptkapitels dieser Studie verwiesen.

Wir versuchen uns nunmehr an einer artspezifischen Gruppierung aller hier zur Diskussion stehenden Umweltfaktoren. Eine solche Klassifikation erscheint uns zur Realisation der in diesem Abschnitte verfolgten Zielsetzungen eher von Nutzen als das bisher übliche, bis dato jedoch vollkommen hinreichende Splitting der Inputdaten in ziel- und handlungsdeterminierende Einflußgrößen. Selbstverständlich gibt es, je nach verwendetem Klassifikationskriterium, eine ganze Reihe potentieller Gliederungsvarianten für das weiter oben in allen Einzelheiten beschriebene Datenspektrum. Eine solche Möglichkeit besteht in der Zusammenfassung derjenigen Einflußgrößen, die jeweils in der gleichen Dimension gemessen werden, also mit anderen Worten kommensurabel sind. Dieserart gelangen wir zu einer Aufspaltung der Gesamtdatenkonfiguration in insgesamt drei große Teilmöcke:

- | | | |
|---------------------------------|---|--|
| 1. <u>Monetäre Daten:</u> | 1.1. <u>Kostensätze</u> | w_{it}^{jk} (in DM/Fahrzeug) |
| | 1.2. <u>Kostendaten mit Mengengerüst:</u> | pg_{kt}^{ij} , AI_{kt}^m (in DM) |
| | 1.3. <u>Daten der Finanzierung:</u> | $INVB_t$ (in DM) |
| 2. <u>Mengendaten:</u> | | S_{it} (in Stück) |
| 3. <u>Dimensionslose Daten:</u> | 3.1. <u>Zuschlagsfaktoren:</u> | F_{jt} , p_{it}^{jk} , tf_{jt}
APT_{kt}^m , c_{kt}^a , c_{kt}^i |
| | 3.2. <u>Skalare Limitationen:</u> | AHU_{jt} , AHO_{jt} |

Obwohl in gewisser Hinsicht sehr sinnvoll, ist eine derartige Klassifikation aus Gründen der "Datenpraktikabilität" nicht empfehlenswert. Hinter diesem Schlagwort verbirgt sich dabei ganz einfach die Notwendigkeit, daß Systementwickler, potentielle Datenlieferanten sowie künftige Systembenutzer (Entscheidungsträger) die gleiche Sprache sprechen müssen. Wenn irgend möglich, sollte es sich hierbei um diejenige Sprache handeln, deren Vokabular sich aus altbewährten und langgeübten innerbetrieblichen Verhaltensmustern in organischer Weise entwickelt hat. Nach intensiven Diskussionen mit den obengenannten Interessengruppen kamen wir unter Abwägung aller diesbezüglich relevanten Tatbestände überein, für die hier zur Debatte stehende Datenkonstellation nachfolgende artspezifische Gliederung zu wählen:

1. Wertschöpfungsspezifische Daten (produktorientiert)

w_{it}^{jk} (in DM/Fahrzeug)

S_{it} (in Stück)

F_{jt} , p_{it}^{jk} , tf_{jt} (dimensionslos)

AHU_{jt} , AHO_{jt} (dimensionslos)

2. Prozeßtechnologie-spezifische Daten (Kostenstellenorientiert)

pg_{kt}^{ij} , AI_{kt}^m (in DM)

APT_{kt}^m , c_{kt}^a , c_{kt}^i (dimensionslos)

3. Finanzmitteldaten (ganzheitlich orientiert)

$INVB_t$ (in DM)

Da sie den Erfordernissen und Ansprüchen aller beteiligten Personenkreise genügt, ist diese Datenklassifikation äußerst vielseitig verwendbar:

- Zum ersten dient sie uns unmittelbar als Grundlage für eine benutzerorientierte Gestaltung der Inputdaten-Listings, die dem Entscheidungsträger nach jeder von ihm selbst gefahrenen Auswertung optionell angeboten werden müssen.
- Zum zweiten bietet sie dank der Geschlossenheit ihres logischen Aufbaus sowie vermöge der Übersichtlichkeit ihres formellen Designs eine hervorragende Hilfestellung für die Konzeption der anwenderorientierten Input-/Output-Programme und zugehöriger Bildschirmmasken.
- Zum dritten bildet dieses Gliederungskonzept ein sehr sicheres, weil verständliches (kommunizierbares) Fundament für sondierende Gespräche mit den Kollegen derjenigen Planungsstäbe, die bereits (nachweislich) über das von uns dringlich benötigte Datenmaterial verfügen, respektive in der Lage sind, aus den disponierbaren Rohdaten entsprechende, unseren Zwecksetzungen angemessene Zieldaten vermöge des Einsatzes geeigneter Schätz-(Prognose-)Verfahren zu gewinnen.

Hiermit sind wir zum Kernpunkt der in diesem Abschnitte abzuhandelnden Problematik vorgestoßen. Es handelt sich dabei um die Fragestellung, wie es nun tatsächlich um den problemlosen Zugriff auf möglichst realitätsgetreue Werte unserer Systemparameter steht.

Wir betrachten zunächst einmal unsere (ausschließlich) wertschöpfungsspezifischen Umweltgrößen, deren Belegung ausnahmslos in Gestalt von Zieldaten zu spezifizieren sind. Die Prognostizierung dieses Datenmaterials (der Be-

griff der Schätzung ist in diesem Zusammenhange unbrauchbar, da wir es mit dynamischen Größen zu tun haben) liegt in der Hand der nachfolgend aufgeführten, innerbetrieblichen Funktionsbereiche:

- Die Marktfachleute des Verkaufs zeichnen in enger Zusammenarbeit mit den prozeßtechnologisch versierten Strategen der technischen Zentralplanung verantwortlich für die Ermittlung der in den folgenden sechs Kalenderjahren jeweils produzier- und absetzbaren baureihenspezifischen Gesamtstückzahlen $S_{it}^*(i,t)$. Diese Daten sind für uns im Wege der Einsichtnahme in die Stücklisten der technischen Planer jederzeit zugänglich.
- Wir haben bereits im Rahmen der Erörterungen des Kapitels 2.3.3.1. eine hinreichend exakte Beschreibung der Informationsquellen geliefert, die im Zuge der Spezifizierung der Kostenparameter w_{it}^{jk} zu nutzen sind. Trotzdem sei zum Zwecke einer logisch-folgerichtigen Fortführung unserer Darstellungen an dieser Stelle nochmals in aller Kürze rekapituliert:
 - Im Wege einer geschichteten Stichprobe aus den Teilstücklisten der von uns betrachteten Modellbaureihen lokalisieren wir ein Spektrum von Vorprodukten, welches uns als Ausgangsbasis zur Ermittlung typogruppenspezifischen Hauskostenwerte je Fahrzeugeinheit, bezogen auf einen fest umrissenen Fertigungsbereich, dienen soll. Der Schwerpunkt der Ziehungsintensität liege hierbei auf denjenigen Schichten, welche die kostenintensivsten Einzelteile beherbergen (vgl. hierzu auch Kapitel 4.1.3.).
 - Es obliegt nun der betrieblichen Kalkulation, für die Bereitstellung der kostenstellenspezifischen Verteilung der variablen Hausfertigungskosten von Teilen (i,j) ($i = 1, \dots, I$; $j = 1, \dots, J$) Sorge zu

tragen, welche zum Beginn des Betrachtungszeitraumes in Eigenfertigung befindlich sind.

- Wie bereits erwähnt ist der Einkauf zuständig für die Identifikation der Bezugskosten solcher Teile (i,j) , welche zu $t = 0$ de facto vom Markt bezogen werden.
- Das im Zuge des Kapitels 2.3.1.1. geschilderte Verfahren der Erzeugung von kostenstellenspezifischen Hauspreisen momentaner Fremtteile (i,j) beruht im wesentlichen auf der Spezifizierung geeigneter Hausfertigungskostenzuschlagsfunktionen H_{j0}^i . Diese Aufgabe wiederum kann ausschließlich unter Verwendung der einschlägigen Statistiken der Bezugsartanalytiker des operativen Projektcontrollings bewältigt werden.
- Im Vorgriff auf die Ausführungen des nächstfolgenden Abschnitts sei festgehalten, daß wir kraft Definition geeigneter Schnittstellen über einen komfortablen Zugriff auf die entsprechenden permanenten Datenbestände der Kalkulation, des Einkaufs sowie des operativen Projektcontrollings verfügen.
- Des weiteren ist hervorzuheben, daß es ausschließlich in unserer Hand liegt, einen spezifischen planerischen Freiheitsgrad optimal zu nutzen, welcher sich in der Wahl einer adäquaten stetigen Approximation für den direkten Wertevorrat der $[H_{j0}^i]$ dokumentiert (vgl. Kapitel 2.3.1.1.). Wir haben bereits darauf hingewiesen, daß hierzu vor allen Dingen lineare, mit Abstrichen auch quadratische Ansätze geeignet wären. Es wurde eine Vielzahl von einfachen Regressionsanalysen durchgeführt, um in hinreichend genauer Weise festzustellen, welche der genannten Approximationen im Durchschnitt über alle diesbezüglichen Datenspek-

tren wohl einen bestmöglichen Fit zu erzielen in der Lage ist. Das Ergebnis dieser Untersuchungen wollen wir zum Anlaß nehmen, von quadratischen Verstetigungsansätzen zugunsten linearer Regressionsgleichungen abzurücken. Die mittlere quadratische Abweichung (mean square error) konkretisierte sich im Falle der Zugrundelegung quadratischer Zusammenhänge auf einem Niveau, welches im Durchschnitt über alle Versuchsreihen um etwa 50 % über dem entsprechenden Fehlerlevel rangierte, wie er für die Annahme linearer Funktionsbeziehungen charakteristisch war. Wenn wir bereit sind, den "mean square error" als ein adäquates Maß zur Beurteilung der Effizienz bzw. der Präzision stetiger Approximationen zu akzeptieren, dann können wir die linearen Hausfertigungskostenzuschlagsfunktionen H_{jo}^i als bestmögliche Annäherungen bezüglich der realiter gegebenen Datenspektren bezeichnen. Diese Ausführungen können durch das Schaubild Abb. 16, welche eine direkte Gegenüberstellung der regressionsanalytisch ermittelten linearen, sowie quadratischen Verstetigungen einer bestimmten $[H_{jo}^i]$ Konfiguration vornimmt, offenkundig untermauert werden. In diesem Zusammenhange ist darauf hinzuweisen, daß selbstverständlich eine EDV-gestützte Durchführung der hier angestellten Regressionsanalysen vorgesehen ist.

- Wir wollen nun betonen, daß obige Ausführungen sinngemäß auch für die Spezifikation der Fremdbezugskostenkorrekturfunktionen $F_{jt} = F_{jo} (AH_{jt})$ Gültigkeit beanspruchen. Mit anderen Worten liefern auch in diesem Falle die linearen Approximationen einen besten Fit bezüglich der realen Datenstrukturen. An dieser Stelle sei vermerkt, daß die Zugrundelegung quadrati-

scher Verstetigungen der $[F_{jt}]$ zu kubisch strukturierten Erklärungshypothesen führt. Diese lassen sich jedoch, in Anbetracht der hier zu bewältigenden, enormen Problemumfänge, nur unter Aufbietung beträchtlicher CPU-Ressourcen einer befriedigenden Extremisierung zuführen. Die Erläuterungen des Kapitels 3.3.3.3. haben deutlich gezeigt, daß der Übergang von einer quadratischen (lineare F_{jt}) zu einer kubischen Zielfunktion (quadratische F_{jt}) im Zuge der Optimierung eines nichtlinearen Problems der Dimension (540 Entscheidungsvariablen x 666 Restriktionen) mit einem Anstieg der Rechenzeiten um etwa 25,82 % zu bezahlen ist. Wir würden also auch für den Fall, daß quadratische F_{jt} -Approximationen (geringfügige) Effizienzvorteile bezüglich ihrer linear spezifizierten Pendanten aufzuweisen hätten, in jedem Falle auf letztere zurückgreifen.

- Abschließend müssen wir uns ganz kurz mit der Problematik der Dynamisierung der funktionalen Zusammenhänge

$$H_{jt}^i = H_{jo}^i (AH_{jt}) = \gamma_{jo}^i + \delta_{jo}^i AH_{jt}, \gamma_{jo}^i \in \mathbb{R}_0^+,$$

$$\delta_{jo}^i \in \mathbb{R}^+, \forall (i,j), \text{ sowie}$$

$$F_{jt} = F_{jo} (AH_{jt}) = a_{jo} + b_{jo} AH_{jt}, a_{jo} \in \mathbb{R}_0^+,$$

$$b_{jo} \in \mathbb{R}^-, \forall j, \text{ auseinandersetzen.}$$

Wir können diese Funktionen dann und nur dann in echt zeitabhängige Relationen der Gestalt

$$H_{jt}^i = \gamma_{jt}^i + \delta_{jt}^i AH_{jt}, \gamma_{jt}^i \in \mathbb{R}_0^+, \delta_{jt}^i \in \mathbb{R}^+, \forall (i,j,t)$$

$$\text{und } F_{jt} = a_{jt} + b_{jt} AH_{jt}, a_{jt} \in \mathbb{R}_0^+, b_{jt} \in \mathbb{R}^-, \forall (j,t),$$

- überführen, wenn die Datenkränze der zugrundeliegenden Statistiken der operativen Bezugsartanalyse vermöge der Erzeugung entsprechender Inflationsfaktoren an die voraussichtlichen Preisniveaus der Planperioden $t = 1, \dots, T$ herangeführt werden. Wir verfügen jedoch über die Zusagen der betroffenen Projektcontroller, diese Aufgabe künftighin zum Zwecke der Sicherstellung der Funktionsfähigkeit unseres strategischen Modellsystems zuverlässig wahrzunehmen. Eine analoge Aussage ist bezüglich der Bereitstellung aktueller, (i,j,k) -spezifischer Hausfertigungskostenwerte für diejenigen Vorprodukte aus unserer geschichteten Stichprobe zu lancieren, welche zu $t = 0$ in Eigenfertigung stehen. Die betriebliche Kalkulation hat sich bereit erklärt, unser Entscheidungskalkül permanent mit solchen zeitabhängigen Dateninputs zu versorgen, so daß die Spezifizierung dynamisierter Wertschöpfungsbeträge $w_{it}^{jk} \neq w_{io}^{jk}$ keine weiteren Schwierigkeiten mehr involviert.
- Wir halten fest: Die Beschaffung realitätsgetreuer Belegungen für die Systemparameter w_{it}^{jk} sowie F_{jt} stellt sicherlich das größte Teilproblem der datenmäßigen Versorgung unseres strategischen Modellsystems zur Fertigungs- und Investitionsprogrammplanung dar. Die hierzu erforderlichen Aktivitäten der Prognose sowie der Definition geeigneter Schnittstellen zu vorgelagerten Informationssystemen (Bezugsartstatistiken, Kostenrechnung, Einkaufs-Informationssystem) stellen die zur Bereitstellung der übrigen systemrelevanten Umweltfaktoren einzuleitenden Datenbeschaffungsmaßnahmen geradezu in den Schatten. Da wir uns jedoch der tatkräftigen Unterstützung der oben genannten planenden Stellen sicher sein können, be-

trachten wir die Problematik der Spezifizierung der w_{it}^{jk} und F_{jt} als gelöst. -

- Wir gehen über zur Belegung der gleichermaßen ziel- und handlungsrelevanten Systemparameter tf_{jt} ($\star(j,t)$) und p_{it}^{jk} ($\star(t,j,k,i)$). Es obliegt den Experten der technischen Zentralplanung, den Einfluß der technologischen Fortschritte (via tf_{jt}) sowie (lang-)fristig veränderter Produktkonzeptionen (vermöge p_{it}^{jk}) auf das Mengengerüst der entscheidungsabhängigen Kosten zu quantifizieren. Zur Erstellung möglichst reliabler diesbezüglicher Prognosen bedürfen sie jedoch der Mitarbeit eines qualifizierten Kostenrechners, der eine möglichst fundierte Kenntnis des aus Kalulationsunterlagen hergeleiteten Basisdatenspektrums der hier hochzurechnenden Wertschöpfungsbeträge besitzen sollte. Die hier angesprochenen Personenkreise haben sich bereit erklärt, zur Beschaffung der von uns gewünschten Datenmaterialien nach Kräften beizutragen.
- Des weiteren müssen wir die künftigen Nutznießer unseres strategischen Entscheidungsmodells selbst die verantwortlichen Entscheidungsträger der Investitionsplanung um die Spezifizierung der auf lange Sicht angestrebten, kogruppenspezifischen Autarkiegrade bitten. Es gilt in diesem Zusammenhange die in den einzelnen Planperioden t ($t = 1, \dots T$) tolerierbaren Schwankungsbreiten $[AHU_{jt}, AHO_{jt}]$ der Eigenfertigungsanteile bezüglich j ($j = 1, \dots J$) zu erfragen. Wir glauben, daß es keines weiteren Hinweises auf die Tatsache bedarf, daß die bezeichneten Entscheidungsträger für die Beschaffung entsprechender Zieldaten Sorge zu tragen bereit sind. Man kam überein, diesbezügliche Systemeingaben jeweils vor Beginn eines neuen Modellaufs manuell zu leisten. Zu diesem Zwecke stehen leistungsfähige und

darüber hinaus komfortable Inputprogramme zur Verfügung (vgl. hierzu auch Kapitel 4.2.). -

- Wir fassen ganz kurz zusammen: Einerseits besteht zwar die Notwendigkeit, die hier aufgeführten wertschöpfungs-spezifischen Umweltparameter mit Zielwerten anzureichern. Andererseits gibt es für uns keinen Anlaß (einmal abgesehen von der oben erwähnten Ausnahme, welche die Durchführung von Regressionsanalysen zum Zwecke der linearen Approximierung der Folgenwerte $\left[H_{jt}^i \right]$ sowie $\left[F_{jt} \right]$ betrifft), selbst aktiv in dieser Richtung tätig zu werden, d.h. auf der Basis entsprechender Rohdaten eigene Prognosen zu erstellen. Die eigens mit diesbezüglichen Aufgaben betrauten (oben explizit genannten) Abteilungen sind nicht nur besser ausgerüstet, was die sofortige Verfügbarkeit umfangreichen Rohdatenmaterials und die Perfektion hier zum Teil erst entwickelter und gereifter Prognoseverfahren anbetrifft, sondern auch sehr viel erfahrener in der Kunst der Erstellung ausgewogener, wirklichkeitsgetreuer Vorhersagen. Überlassen wir also diesbezügliche Tätigkeiten den hierfür prädestinierten Expertenteams unseres Unternehmens, welche auch ihre Bereitschaft zur Übernahme entsprechender Aufgaben signalisiert haben. So haben bereits mehrere Kontaktgespräche stattgefunden mit dem Ziele der Abklärung sachspezifischer Fragen und Besonderheiten, der Taxierung des zu erbringenden Aufwands an Zeit und Manpower sowie der (terminlichen) Abstimmung des weiteren (gemeinsamen) Vorgehens. -

Unterziehen wir nunmehr das (ausschließlich) Prozeßtechnologie-spezifische System von Einflußfaktoren einer ähnlichen Analyse. Für die in diesem Zusammenhange zu diskutierenden Umweltparameter sind wieder ausnahmslos geplante

Größen (Zieldaten) einzusetzen bzw. in geeigneter Weise zu ermitteln. Wie auch schon im Falle der wertschöpfungsspezifischen Systemeinflußfaktoren sind wir zu deren Erfassung respektive Bestimmung im wesentlichen auf die Mitarbeit anderer, mit entsprechenden Provenienzen ausgestatteter Abteilungen angewiesen:

- Die betriebliche Kalkulation ist bereit, uns mit geeigneten Spezifikationen der rein zielrelevanten Umweltparameter pg_{kt}^{ij} zu versorgen. Darüber hinaus hat man uns zugesichert, zu diesem Zwecke eine Schnittstelle zum Abrechnungssystem der Kostenplanung für uns zu reservieren. Dies versetzt uns in die Lage eine selektive Auswahl der jeweils (i,j,k,t) -relevanten Gemeinkostenwerte vorzunehmen (etwa nur zusätzliche Löhne oder Mieten für zusätzlichen Raumbedarf), welche in einem ursächlichen Zusammenhang mit der Einführung neuartiger Produktkomponenten (i,j) in t stehen.
- Es obliegt den Fachleuten der technischen Zentralplanung, für die Bereitstellung der charakteristischen Zeitpfade der Anlagenintensität bereits bekannter, d.h. im Unternehmen erprobter Prozeßtechnologien Sorge zu tragen (vgl. hierzu Kapitel 2.3.2.1.). Des weiteren kann uns dieser Expertenkreis beim Versuch der Quantifizierung von rein mengenmäßigen Auswirkungen eines mit der Einführung neuartiger Fertigungstechnologien verbundenen Investitions- und Produktivitätsschubs behilflich sein, falls sich eine derartige Entwicklung innerhalb des Planungshorizonts abzeichnen sollte. Dies geschieht im Wege einer geeigneten Spezifikation der Transformationsparameter α_k^m sowie β_{kt}^m , mit deren Hilfe die Intensitätsfunktionen AI_{kt}^m bereits im Einsatz befindlicher artverwandter Prozeßtechnologien entsprechenden linearen Operationen unterzogen werden (vgl. hierzu Ka-

pitel 2.3.3.1.2.)). In diesem Zusammenhange sei noch einmal betont, daß die Zeitpfade der Intensitäten sowohl erprobter, als auch neuartiger Fertigungstechnologien stets monoton fallende, stetige Funktionen der Zeit repräsentieren, wobei durchaus nichtlineare Entwicklungstendenzen (etwa eine degressive Abnahme) auftreten können. Wir verfügen über eine explizite Zusage der oben bezeichneten Planungsstäbe, die Bereitstellung entsprechender Parameterspezifikationen im Wege der Lancierung geeigneter Prognosen zu übernehmen.

- Darüber hinaus haben sich die Verantwortlichen der technischen Zentralplanung bereit erklärt, in enger Zusammenarbeit mit der Anlagenbuchhaltung möglichst realitätsgetreue Belegungen für die (t,k,m) -spezifischen Anlagenpreistrends APT_{kt}^m zu erarbeiten. Hierzu ist anzumerken, daß wir den technischen Planern selbstverständlich alle Informationen betreffend die von uns regressionsanalytisch ermittelten, realistischen mittleren Lebenserwartungen für die zur Debatte stehenden Fertigungspotentiale k ($k = 1, \dots K$) zur jederzeitigen Verfügung stellen müssen (vgl. hierzu auch Kapitel 4.1.4.). Diese Aussage gilt analog im Zusammenhang mit der Prognostizierung der Belegungen für die charakteristischen Zeitpfade der (t,k,m) -spezifischen Anlageintensitäten (siehe oben).
- Es wurde bereits im Zuge des Kapitels 2.3.1.2. darauf hingewiesen, daß ein Experte des Fachbereichs Projekt- und Investitionscontrolling sich zur Abgabe von subjektiven Prognosen bezüglich der rein zielrelevanten Kostenparameter c_{kt}^a ($\forall (t,k)$) sowie c_{kt}^i ($\forall (t,k,i)$) bereit gefunden hat. Selbstverständlich müssen sich die Prognosen an entsprechenden Erfahrungswerten der Vergangenheit orientieren.

- Wir fassen kurz zusammen: Das Problem der Beschaffung Prozeßtechnologie-spezifischer Inputdaten kann als in befriedigender Weise gelöst betrachtet werden, da wir uns auf eine diesbezüglich tatkräftige Hilfestellung der oben bezeichneten planenden Stellen verlassen können. Es sei in diesem Zusammenhange darauf hingewiesen, daß die Durchführung der hierzu notwendigen Prognoseaktivitäten als weitaus weniger aufwendig gelten kann, als dies noch im Zuge der Erhebung wertschöpfungsorientierter Inputdatenspektren der Fall war. -

Was die Bereitstellung geeigneter Belegungen für die systemrelevanten Finanzmitteldaten anbetrifft, können wir uns kurz fassen. Die in den jeweiligen Planperioden t ($t = 1, \dots, T$) verfügbaren Investitionsbudgets $INVB_t$ ($\forall t$) können von den Zielpersonen unseres strategischen Modellkonzepts, den Entscheidungsträgern der betrieblichen Investitionsplanung selbst hinreichend exakt spezifiziert werden. Entsprechende Modelleingaben sind wieder, wie im Falle der Prognostizierung von adäquaten AHU_{jt} -/ AHO_{jt} -Werten ($\forall (j,t)$), in manueller Weise vor jedem Systemanlauf zu leisten. -

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß wir anlässlich der Erhebung der Systeminputdaten, ganzheitlich betrachtet, vor keinen unüberbrückbaren Problemen stehen. Ein Löwenanteil der zur Beschaffung vorhandener Daten respektive Prognose entsprechender Zieldaten notwendigen Aktivitäten kann an andere, von uns bereits mit entsprechenden Aufgaben betraute unternehmensinterne Stellen delegiert werden. Diese Abteilungen sind zur Abwicklung der genannten Aufgabenstellungen prädestiniert, da eigens zu diesen Zwecken ins Leben gerufen oder täglich mit der Ana-

lyse vergleichbarer Datenmaterialien konfrontiert. Sie können mithin ein qualitativ hohes, mithin ein der Realität nahezu gleichkommendes Niveau der bereitgestellten Datenkonfigurationen garantieren.

Die Spezifizierung eines vergleichsweise geringvolumigen, weiter oben exakt umrissenen Teils des Inputdatenpakets verbleibt dagegen in unserem Verantwortungsbereich. In diesem Zusammenhange haben wir uns insbesondere um die Aufbereitung und Strukturierung der vorliegenden Roh- und Zieldatenmaterialien zu bemühen. Im gleichen Atemzuge wäre die EDV-konforme Verfügbarkeit geeigneter regressionsanalytischer Techniken zum Zwecke der Spezifizierung

- realistischer, k-spezifischer Anlagenlebensdauerfunktionen (vgl. Kapitel 3.1.4.) sowie
- möglichst wirklichkeitsgetreuer Parametercharakteristika für Hausfertigungskostenzuschlags- und Fremdbezugskostenkorrekturfunktionen

zu nennen. Auch in diesem Falle stehen die Chancen außerordentlich günstig, qualitativ hochwertige Systeminputdaten zu gewinnen. Somit steht dem erfolgreichen Abschluß der Aufgabenstellung "Erhebung und Prognose der Inputdaten" nichts mehr im Wege.

4.1.2. Die Definition der Systemschnittstellen zu Primärdatenbanken sowie weiteren vorgelagerten Sekundärdatenkonfigurationen

Nach Lage der Dinge können wir uns sicher sein, daß eine erfolgreiche Implementierung unseres Modellsystems zur strategischen Fertigungs- und Investitionsprogrammplanung ohne weitergehende Schwierigkeiten wesentlichen Charakters

realisierbar ist. Unser theoretisches Grundkonzept hat sich in erschöpfenden Testreihen zur Genüge bewährt und somit als hieb- und stichfest erwiesen. Eine kontinuierliche Versorgung des Optimierungssystems mit adäquaten Inputdatenspektren ist, wie den Ausführungen des vorhergehenden Abschnitts zu entnehmen war, in jedem Falle gewährleistet. Dabei wird eine ganze Reihe grundlegender Dateninformationen zum Zwecke der Spezifizierung bestimmter Systemparameter, welche nachfolgend noch einmal zu katalogisieren sind, kraft der Definition von geeigneten Schnittstellen zwischen

- den Input- und Parameterinitialisierungsprogrammen des Optimierungssystems einerseits, sowie
- einzelnen Primär- und Sekundärdatensystemen des Unternehmens andererseits

bereitgestellt. Dies impliziert natürlich nicht, daß entsprechende Datenbestände unbesehen in die Modellstrukturen unseres strategischen Entscheidungskalküls übernommen werden können. Wie bereits betont, kann erst eine systemkonforme Aufbereitung dieser primären und/oder sekundären Dateninformationen die Generation der von uns letztendlich benötigten Parameterwerte auslösen. Eine solche Aufbereitung besteht dabei

- zum einen in der Zusammenführung besagter Basisinformationen, wie etwa im Falle der Erzeugung der Fertigungskostenwerte w_{it}^{jk} ($\forall (t,j,k,i)$) oder auch der Ermittlung einer realistischen Besiedelungsmatrix für die Anlagenlebensdauerklassen m ($m = 1, \dots M$),
- zum zweiten in der Selektierung und Komprimierung des hier betrachteten Rohdatenmaterials, wie sie für die Erarbeitung von echt entscheidungsabhängigen Belegungen für die Gmeinkostenparameter pg_{kt}^{ij} ($\forall (t,j,k,i)$) charakteristisch ist, sowie

- zum dritten in einer mit Augenmaß betriebenen Inflationierung der Basisperiodenwerte von allen hier zur Debatte stehenden Rohdateninformationen. Hiermit wird vor allen Dingen dem Wunsch Rechnung getragen, in der erweiterten Version unseres strategischen Modellsystems ausschließlich auf echt zeitabhängige Parameterstrukturen zu recurrieren.

Die im obigen Zusammenhange zitierten Aufbereitungsroutinen sind zentraler Bestandteil der Inputprogramme unseres strategischen Entscheidungskalküls und beinhalten im wesentlichen die einschlägigen Techniken der regressionsanalytischen Abschätzung von funktionalen Wirkungszusammenhängen (H_{jt}^i , F_{jt} , Anlagenfluktuationsraten, Zeitpfade der (t,k,m) -spezifischen Anlageintensitäten AI_{kt}^m) sowie kostenartenorientierte Selektionsmechanismen (Identifizierung entscheidungsrelevanter Gemeinkostenelemente pg_{kt}^{ij}). Im gleichen Atemzug sei an dieser Stelle betont, daß Maßnahmen der Datenaufbereitung selbstverständlich auch im Anschluß an manuell bewältigte Systemeingaben Platz greifen müssen. In diesem Zusammenhange wäre etwa die lineare Transformation von Anlagenintensitäten bewährter Fertigungstechnologien zum Zwecke der Gewinnung entsprechender Relationen für neuartige Prozeßtechnologien zu nennen. Die manuell zu bedienenden Dateneingabeprogramme stehen in dezentraler Organisationsform zur allgemeinen Verfügung unserer im vorhergehenden Abschnitte genannten "Informationslieferanten". Dies will besagen, daß die mit der Bereitstellung bestimmter Systeminputs betrauten Stellen über Eingaberoutinen verfügen, welche

- von uns nach den Gesichtspunkten höchstmöglicher Bedienerfreundlichkeit konzipiert worden sind (vgl. hierzu auch Kapitel 4.2.) und

- die Übergabe der hier angelieferten Datenmaterialien an eine zentrale Fortran-Datenbibliothek bewerkstelligt, die
 - bereits komplett nach oben präsentiertem Schema aufbereitete, via Überleitung aus Primär- und Sekundärdateninformationssystemen gewonnene Parameterstrukturen enthalten kann und somit
 - als Datenträger der letztendlich in unser strategisches Modellsystem eingehenden Koeffizientenmatrizen eines bestimmten Entscheidungsproblems fungiert.

Wir wissen, daß die Adressaten eines implementierten Systems der Optimierung von Akquisitions- und Investitionsentscheidungen, die für Investitionsplanung und -controlling verantwortlichen Personen, höchstpersönlich an der Eingabe bestimmter Inputdatenspektren zu partizipieren haben. Den Ausführungen des Kapitels 4.1.1. ist zu entnehmen, daß sie für die Spezifizierung der rein handlungsrelevanten Umweltfaktoren AHU_{jt} , AHO_{jt} ($\checkmark(j,t)$) sowie $INVB_t$ ($\checkmark(t)$) Sorge zu tragen haben. Selbstverständlich steht den Entscheidungsträgern zu diesem Zwecke ein spezielles, manuell zu handhabendes, aber höchst komfortables Eingabeprogramm zur Disposition.

Erst wenn die obengenannte Datenbibliothek die vollständig belegten Koeffizientenmatrizen des jeweils zur modellmäßigen Lösung anstehenden Entscheidungsproblems enthält, kann der mit entsprechenden Aufgaben betraute Entscheidungsträger auch über die Beibehaltung oder auch Veränderung derjenigen Systemparameterwerte befinden, zu deren Spezifizierung er eingangs nicht befugt oder in der Lage war. Durch die Programmierung einer anwenderorientierten, manuellen Änderungsoption wurde dem Umstande Rechnung getragen,

daß möglicherweise, aufgrund neugewonnener Erkenntnisse, der eine oder andere durch

- Aufbereitung entsprechender Primär- und/oder Sekundärdatenstrukturen, sowie
- Prognoseaktivitäten der Experten von dezentralen Planungsstäben

bereitgestellte Parameterwert vom Systembenutzer (Entscheidungssträger) selbst auf den neuesten Stand gebracht sein will. -

Gehen wir nun über zur Katalogisierung der im Wege unserer Inputprogramme abrufbaren Primär- und Sekundärdatensysteme. Im einzelnen verfügen wir über permanente Zugriffsmöglichkeiten auf die

- Prozeßkonforme Kalkulation (Hausteile - Datenbank), welche die variablen Fertigungskosten für die zu $t = 0$ in Eigenfertigung befindlichen Vorprodukte aus unserer geschichteten Teilestichprobe bereithält,
- Auswärtsteile - Datenbank, die uns Zielwerte für die in der Basisperiode gültigen Kosten des marktmäßigen Bezugs ebendieser Teile liefert (ex Materialaufwendungen),
- Abrechnungssysteme der Kostenplanung, welche der Beschaffung von nach Kostenarten gegliederten Gemeinkostenwerte Rechnung tragen, wie sie sich in der Basisperiode für die Produktivkostenstellen ergeben,
- Anlagen - Datenbank, die eine jederzeitige Verfügbarkeit der tatsächlichen, k-spezifischen Anlagenfluktuationsraten sicherstellt, wie sie für die Vergangenheit charakteristisch sind.

Während die bisher aufgeführten Daten- und Abrechnungssysteme ausnahmslos primäre Dateninformationen vermitteln, liefern uns die

- Statistiken der operativen Bezugsartanalyse
(BZA-Statistik)

ausschließlich sekundäres Datenmaterial, mithin Primärinformationen, welche bereits (im Hinblick auf eine andere Zwecksetzung) einer gezielten Aufbereitung unterworfen worden sind. Wie schon des Öfteren erwähnt, versorgen uns diese Statistiken mit solchen Datenspektren, die zur Generation der funktionalen Zusammenhänge H_{jt}^i ($\forall (i,j,t)$) sowie F_{jt} ($\forall (j,t)$) unabdingbar sind. Die BZA-Statistiken spielen insofern eine zentrale Rolle im Rahmen der Aktivitäten zur Datenbeschaffung, als die hieraus extrahierten Informationen letztendlich die Ermittlung unserer entscheidungsabhängigen Kosten der Wertschöpfung sicherstellen. -

Zurückblickend können wir demnach guten Gewissens die Behauptung aufstellen, daß wir der Verwirklichung unserer Zielsetzungen, welche sich in der Herstellung einer allumfassenden praxiskonformen Implementierfähigkeit unseres strategischen Modellsystems konkretisieren, ein gewaltiges Stück nähergekommen sind.

Beim Überspringen der Hürde "Erhebung und Prognose der Systeminputdaten" haben wir darüber hinaus eine Bestätigung für die in theoretischer Hinsicht unmittelbar einleuchtende These erhalten, daß die Generation quantitativer Modellsysteme zur strategischen Unternehmensplanung, stets den Leitlinien der Simultanplanung gehorchend (vgl. Hanssmann 1978), eine umfassende integrative Wirkung ausübt. Auf einen einfachen Nenner gebracht impliziert dies, daß mehrere Stellen und Abteilungen eines Unternehmens zur permanenten Kommunikation und Kooperation, an der es gerade in großen Firmen oftmals mangelt, benötigt sind, um analytisch aufwendigen, quantitativen Systemen der strategischen Planung halbwegs sinnvolle Erkenntnisse

zur Entscheidungsfindung abzugewinnen.

Für die Zukunft bleibt nunmehr zu hoffen, daß der von uns als künftiger Systemanwender zitierte Personenkreis unser Modellsystem letztendlich auch akzeptiert. Um den Benutzern eine (innere) Entscheidung pro Optimierungssystem wesentlich zu erleichtern, haben wir ein ganzes Bündel von anwenderorientierten Maßnahmen mit dem Ziele einer weiteren, diesbezüglichen Verbesserung des Systemdesigns initiiert. Hieraus resultiert im wesentlichen eine nicht unerhebliche Steigerung des Bedienungskomforts sowie eine stark erhöhte Transparenz des Gesamtkonzepts. Weitergehende Informationen zu dieser Thematik bitten wir jedoch dem Kapitel 4.2. zu entnehmen.

4.1.3. Die Durchführung einer geschichteten Stichprobe mit Schwerpunkt auf "wichtigen Vorprodukten" zum Zwecke der Ermittlung entscheidungsabhängiger Hauskostenwerte w_{it}^{jk} -

Wir beginnen die Ausführungen dieses Kapitels mit Erläuterungen zum begrifflichen Inhalt des Terminus "Wichtiges Teil (Vorprodukt)". In diesem Zusammenhange gilt es also vor allen Dingen darzulegen, auf welches Schichtungsmerkmal aus welchen Gründen zu recurrieren ist. In einem zweiten Abschnitt müssen wir uns mit der methodischen Anlage der geschichteten Stichprobe auseinandersetzen. Hierbei wollen wir es nicht versäumen, Hinweise zu geben bezüglich der von uns verwendeten statistischen Grundlagen sowie der in diesem Rahmen genutzten Möglichkeiten einer komfortablen praktischen Durchführung des Verfahrens.

Abschließend wollen wir uns mit der Untersuchung sowohl

der Validität als auch der Reliabilität der vermöge dieser Stichprobenauswahl generierten Datenspektren zur Vornahme von Wertzuweisungen an die (i,j,k,t) -spezifischen Hauskostenparameterwerte w_{it}^{jk} befassen. Zum Zwecke der Gewinnung von diesbezüglich aufschlußreichen Erkenntnissen kann vor allem eine Analyse der faktischen Repräsentativität des Auswahlprozederes im Hinblick auf die Ermittlung wertschöpfungsorientierter Schwerpunktsetzungen der Investitions- und Akquisitionspolitik beitragen.

4.1.3.1. Erläuterungen zum Begriff des "Wichtigen Teils"

Der Terminus "Wichtiges Vorprodukt" steht, wie bereits erwähnt, im Dienste der Ableitung eines für unsere Zwecke geeigneten Schichtungsmerkmals. Im Zuge der Ausführungen des Kapitels 2.3.1.1. ist offenbar geworden, daß wir zum Zwecke der Ermittlung von Anlagenbedarfen, welche in den Planperioden $t = 1, \dots, T$ vermöge entsprechender Investitionsaktivitäten zu befriedigen sind, auf den klassischen Maßstab effektiver, unternehmensintern zu erbringender Wertschöpfungsbeträge zurückgreifen. Angesichts einer auf der strategischen Ebene geforderten hochaggregierten Betrachtungsweise ist es unnötig, um nicht zu sagen unangebracht, die zukünftig zu deckenden Anlagenbedarfe auf der Basis einer totalen Wertschöpfungssumme zu ermitteln. Unsere Aufgabe besteht in diesem Zusammenhange vielmehr in einer Lokalisierung der künftigen (t,k,m) -spezifischen Investitionsschwerpunkte in Abhängigkeit von jeweils optimalen Konkretisierungen der produkttechnologischen Autarkiegrade bezüglich t . Zur bestmöglichen Realisation dieser Zielsetzung bedarf es jedoch keiner Vollerhebung der variablen Fertigungs- bzw. Bezugskostenwerte aller Einzel-

teile, deren Sachnummern in den jeweiligen (i,j)-spezifischen Stücklisten aufgeführt sind. Eine Beschränkung auf die zur Ermittlung von Schwerpunkten künftiger Investitionsaktivitäten wichtigen, weil

- kostenintensiven und meist auch,
- von der Produkttechnologie her betrachtet, qualitativ hochwertigen und daher imageträchtigen

Fahrzeugkomponenten (Einzelteile) kann somit als vollkommen ausreichend empfunden werden. Trotzdem dürfen wir vergleichsweise billig zu fertigende Fahrzeugelemente nicht ganz vernachlässigen, weil wir sonst Gefahr laufen würden, bestimmte Konstruktionsgruppen j, welche ausnahmslos über kostenmäßig relativ kleine Wertschöpfungskomponenten verfügen (hier wäre etwa die Kleinteilefertigung zu nennen), vollständig von unserer Betrachtung zu suspendieren. Dies ist jedoch unzulässig, da auf der strategischen Ebene eine allumfassende, integrative Berücksichtigung aller Produkttechnologien zu fordern ist. Wir befinden uns dann auf einer sicheren Seite, wenn die Vorprodukte (i,j) nach Maßgabe der Höhe der zu ihrer Erstellung respektive für ihren Bezug aufzuwendenden Kostenbeträge in eine engere Auswahl gelangen. Eine uneingeschränkte Zufallsauswahl vermag dies unter keinen Umständen zu bewerkstelligen. Wir plädieren demzufolge für die Durchführung einer geschichteten Stichprobe, die zur Familie der zweistufigen statistischen Auswahlverfahren zu zählen ist. Hierbei empfiehlt sich eine Gliederung unserer Teilegrundgesamtheit vom Umfang N (eine weitergehende Spezifizierung sei dem nachfolgenden Abschnitt entnommen) in P Klassen p ($p = 1, \dots, P$), wobei die Klassenmittelwerte μ_p eine aufsteigende Reihe von Haus- bzw. Bezugskostenwerten bilden sollen. Das Intervall $p = 1$ enthalte mithin die billigst herstellbaren Vorprodukte (i,j), während die Klassen $p = P$ die kostenintensivsten

Einzelteile beherberge. Schließlich ist bei der Durchführung der zufälligen Ziehung solcher Kfz-Elemente strikt darauf zu achten, daß

- solche Teile, die einer höherrangigen Schicht p angehören, eine weitaus höhere Wahrscheinlichkeit besitzen, in die Auswahl zu kommen, als dies für ein Vorprodukt aus einer auf niedrigerem Niveau angesiedelten Klasse charakteristisch ist. In diesem Zusammenhange wollen wir die Forderung erheben, daß in etwa vier Siebtel ($\approx 57,14\%$) des Stichprobenumfangs n , betrachtet im Durchschnitt über alle Rohdatenkonstellationen, auf die Schichten P und $(P-1)$ zu entfallen haben. Zu diesem Zwecke ist ein adäquates Kriterium der Verteilung des Stichprobenumfangs auf die einzelnen Klassen p zu konstruieren.
- jede Kogruppe j ($j = 1, \dots, J$) mit mindestens einem Fahrzeugelement im Ergebnisraum der Stichprobe enthalten ist (Ziehungsrestriktion). Hierzu würden sich prinzipiell zwei Vorgehensweisen eignen, wobei der letztgenannten schon aufgrund ihres relativ einfachen Prozederes der Vorzug zu geben ist:
 - Man untergliedere die Teilegrundgesamtheit mit Hilfe eines bivalenten Schichtungsmerkmals, so daß jede Schicht p in J kogruppenspezifische Subklassen p_j unterteilt wird. Der auf p entfallende Bruchteil des Stichprobenumfangs n könnte dann etwa gemäß den Regeln der proportionalen Aufteilung an die einzelnen p_j weitergegeben werden.
 - Man stelle die Präsenz aller J Produkttechnologien im Ergebnisraum der Stichprobe dadurch sicher, daß letzterer im Zuge einer geringfügigen Erweiterung des Stichprobenumfangs gezielt um die fehlenden Elemente ergänzt wird.

Sicherlich ist diese Vorgehensweise (in statistischer Hinsicht) nicht der Weisheit letzter Schluß, obwohl sie durch ihre bestechende Einfachheit glänzen kann und demzufolge die Erhebungskosten nicht rapide in die Höhe treibt, was im Zuge der Anwendung des erstgenannten Verfahrens wohl sicherlich der Fall sein wird. In Anbetracht der Tatsache, daß der von uns gewählte Stichprobenumfang die Anzahl der zu berücksichtigenden $J = 20$ Produkttechnologien um ein Vielfaches übertrifft, ist die Wahrscheinlichkeit, daß eine bestimmte Fahrzeugkomponente j nicht in die Auswahl gelangt, außerordentlich gering. Somit kommen wir nur in wenigen Fällen in die Zwangslage einer retrospektiven Korrektur des Stichprobenergebnisraumes. Bezeichnenderweise haben wir uns bis dato noch kein einziges Mal in einer diesbezüglichen Verlegenheit befunden. -

Soweit unsere Ausführungen bezüglich unserer Motivation zur Durchführung einer geschichteten Teilstichprobe. Die in diesem Zusammenhange erläuterte Definition des von uns bevorzugten Schichtungsmerkmals ist nun im nachfolgenden Abschnitte im Wege der Erörterung statistischer Grundlagen zur Verteilung des Stichprobenumfangs n (dessen exakte Festlegung ebenfalls noch offensteht) sowie der Präsentation entsprechender Zahlenmaterialien anzureichern.

4.1.3.2. Anmerkungen zur methodischen Anlage der geschichteten Stichprobe mit Hinweisen auf statistische Grundlagen und Maßnahmen zur praktischen Durchführung

Beginnen wir mit der zahlenmäßigen Spezifikation des Umfangs unserer Teilegrundgesamtheit, der mit N zu bezeich-

nen ist. Hierzu muß zunächst festgehalten werden, daß diese sowie alle weiteren, im Verlaufe dieses Kapitels lancierten Zahlenangaben in verschlüsselter Form wiedergegeben werden, um den Erfordernissen des innerbetrieblichen Datenschutzes Genüge zu verschaffen. Summiert man über die Anzahl der Sachnummern aus den (i,j) -spezifischen Teilstücklisten bezüglich i ($i = 1, \dots, I$) und j ($j = 1, \dots, J$) und vermindert man das Ergebnis zum Zwecke der Vermeidung von Doppelzählungen um sogenannte Gleichteile, so erhält man den zahlenmäßigen Umfang unserer Teilegrundgesamtheit. Für $t = 0$ gelte dann: $N = 566628$. Wir ordnen die Elemente dieser Gesamtheit in $P = 8$ verschiedene Klassen (Kostenkategorien) ein, welche über die im vorhergehenden Abschnitt spezifizierten Eigenschaften verfügen sollen. Klassifizierungsmerkmal sind, je nach Bezugsart zu $t = 0$, die variablen Fertigungs- bzw. Bezugskosten in [DM/Stück]. Auf eine exakte Spezifizierung der jeweiligen Schichtungsintervalle sei hier verzichtet, da dies für Zwecke der Verdeutlichung unserer Vorgehensweise irrelevant ist. Demzufolge können wir sofort übergehen zur zahlenmäßigen Benennung der von uns beobachteten Klassenhäufigkeiten, die mit N_p zu bezeichnen sind. Für $t = 0$ haben sich die nachfolgenden Werte ergeben:

p	1	2	3	4	5	6	7	8
N_p	5547	8740	4703	10147	12511	5783	3418	5779

Aus dieser Gesamtheit mit den oben beschriebenen Eigenschaften ziehen wir nun eine geschichtete Stichprobe vom Gesamtumfang $n = 3000$ jeweils nach der Ziehungsvorschrift ohne Zurücklegen. Selbst wenn man rein hypothetisch annehmen würde, daß die hier betrachteten Merkmalswerte einer

Binomialverteilung unterliegen, so vermögen die Realisationen

- des Gesamtauswahlsatzes $\frac{n}{N} = 5,298 \%$ sowie der in diesem Zusammenhange eigentlich maßgebenden
- schichtspezifischen Auswahlsätze $\frac{n_p}{N_p}$, wobei n_p die Anzahl der in Klasse p zu erhebenden Merkmalswerte repräsentiere (hierzu mehr an etwas späterer Stelle), deutlich unter Beweis zu stellen, daß hier von einer Ziehung nach dem Modell mit Zurücklegen, welche EDV-technisch erheblich einfacher handhabbar wäre, abstrahiert werden muß. Diese Überlegung basiert auf der Tatsache, daß die hypergeometrische Verteilung (Modell ohne Zurücklegen) erst dann durch die Binomialverteilung (Modell mit Zurücklegen) approximiert werden kann, wenn die jeweiligen Auswahlsätze $\frac{n}{N}$ respektive $\frac{n_p}{N_p}$ kleiner sind als 5 % (vgl. Anderson 1976).

Des weiteren kann in unserem Falle nach Überprüfung der einschlägigen Näherungsbedingungen nicht ausgegangen werden (vgl. Anderson 1976), daß die Merkmalswerte aller Klassen p hinreichend exakt normalverteilt wären.

Die Erzeugung der klassenspezifischen Stichprobenumfänge n_p , $p = 1, \dots, P$, basiere nun auf der nachfolgenden Bestimmungsgleichung. Sei

$$n_p = \frac{\mu_p^2}{\sum_{p=1}^P \mu_p^2} \cdot n, \quad p = 1, \dots, P, \text{ wobei}$$

μ_p ... den Klassenmittelwert der p -ten Schicht symbolisiere.

Diese Methodik der Verteilung des Gesamtstichprobenumfangs n auf die einzelnen Schichten p hat, zumindest bezüglich

der entsprechenden, in $t = 0$ gültigen Rohdatenkonstellationen, ein eindeutiges Zeugnis von ihrer bestechenden Effizienz abgelegt. Diese dokumentiert sich in einem außerordentlich hohen Erreichungsgrad der Zielvorstellungen, die wir eingangs an eine solche zweistufige Zufallsauswahl gerichtet haben. Betrachten wir in diesem Zusammenhange die nachfolgende tabellarische Übersicht:

p	1	2	3	4	5	6	7	8
$\pi_p = \frac{\mu_p^2}{\sum_{p=1}^p \mu_p^2}$	0,051	0,055	0,061	0,071	0,086	0,106	0,22	0,35
n_p	153	165	183	213	258	318	660	1050

- Exakt 57 % ((0,35 + 0,22) . 100) des Gesamtstichprobenumfangs n entfallen auf die Schichten $P = 8$ und $(P - 1) = 7$, welche gemäß unserem Klassierungsmerkmal über die betragsmäßig höchsten, schichtspezifischen arithmetischen Mittel verfügen (vgl. Kapitel 4.1.3.1.). n_p wächst jedoch ex definitione mit quadratischen μ_p ($\forall p = 1, \dots, P$), was sich in dem von uns gewünschten, progressiven Anstieg der klassenspezifischen Stichprobenumfänge mit zunehmenden Schichtindex dokumentiert.

- Aus diesem Grunde verwundert es auch nicht, daß die Auswahlssätze π_p eine mit p streng monoton steigende, progressive Folge bilden. Darüber hinaus darf festgehalten werden, daß alle

$$\pi_p = \frac{n_p}{n} \quad , \quad \forall p = 1, \dots, P \quad ,$$

über dem Schwellenwert von 0,05 liegen, so daß, wie ein-

gangs erklärt wurde, auf eine etwaige Anwendung der Ziehungsvorschrift mit Zurücklegen leider verzichtet werden muß.

Selbstverständlich kann die hier diskutierte, auf unsere Zielsetzungen zugeschnittene Aufteilungstechnik nicht an den in der induktiven Statistik weitverbreiteten und anerkannten Verfahren der proportionalen oder etwa der optimalen Aufteilung gemessen werden. Diese, nennen wir sie mittelwertprogressive Aufteilung würde bereits an den einschlägigen ϵ^2 Präzisionsvergleichen kläglich scheitern. -

Abschließend wollen wir es nicht versäumen, ein paar Hinweise bezüglich der praktischen Durchführung der hier in hinreichend detaillierter Weise beschriebenen Stichprobenmethode zu erteilen. In Anbetracht des enormen Umfangs der zu betrachtenden Grundgesamtheit ist eine EDV-Unterstützung des Prozederes natürlich unerläßlich. Da die (i,j)-spezifischen Teilestücklisten und zugehörige Kostenwerte über geeignete Fortran-Leseprogramme abrufbar sind, können wir von jeglichen manuellen Auswertungstätigkeiten abstrahieren. Es ist lediglich ein Programmpaket zur Aufbereitung der Merkmalswerte unserer Teilegrundgesamtheit zu kreieren, welches insbesondere die weiter oben erörterte Schichtung des Rohdatenmaterials zu initiieren hat. Selbstverständlich läuft auch die eigentliche Ziehungsprozedur computergestützt ab. Zu diesem Zwecke sei das Urnenmodell der Stichprobentheorie vermöge des Monte-Carlo-Verfahrens imitiert (vgl. Sasieni et al. 1967). In der gebotenen Kürze wollen wir hierzu lediglich folgende Anmerkungen machen:

Eine geschichtete Stichprobe ist, wie bekannt, ein zweistufiges Verfahren der zufälligen Auswahl bestimmter Merkmals-

werte. Auf der ersten Stufe wird, wie beschrieben, eine volle Erhebung (Charakterisierung) aller Merkmalskategorien (Schichten) durchgeführt. In der zweiten Phase ist dann jede dieser Klassen p ($p = 1, \dots, P$) Gegenstand einer isolierten Teilerhebung (Stichprobe) vom Umfang n_p , wobei

$$\sum_{p=1}^P n_p = n \quad \text{gilt. Diese Stichproben konkretisieren sich nun in sogenannten Monte-Carlo-Zyklen. Wir betrachten zu diesem Zwecke etwa die Schicht } p = \bar{p}:$$

Es wird vermöge der Fortran-Intrinsic-Function "ranf ()" eine 0/1-gleichverteilte Zufallszahl gezogen und kraft einer geeigneten linearen Transformation auf das Merkmalsintervall

$$[\bar{p}_u ; \bar{p}_o]$$

der betrachteten Schicht $\bar{p}$ abgebildet. Es kommt dann derjenige Merkmalswert $x_{\bar{p}} \in [\bar{p}_u ; \bar{p}_o]$ zur Auswahl, der die geringste positive Differenz mit dem gezogenen zufälligen Wert f_k , $k = 1, \dots, n_{\bar{p}}$, bildet:

$$\text{Min } (x_{\bar{p}} - f_k)^+ \quad \text{Ergebnisraum der Stichprobe.}$$

Natürlich ist der Vorgang, unter Entfernung der jeweils auserwählten $x_{\bar{p}}$ aus der $\bar{p}$ -spezifischen Teile-Grundgesamtheit ($\rightarrow$ Ziehungsvorschrift ohne Zurücklegen!), nur so oft zu repetieren, als die Maximalzahl $n_{\bar{p}}$ auszuwählender Merkmalselemente dies zuläßt. Da wir um die außerordentliche Effizienz des von uns benutzten Fortran-Zufallszahlengenerators wissen, können wir in diesem Zusammenhange von einer nahezu perfekten und somit reliablen Nachbildung des theoretischen Urnenmodells der induktiven Statistik sprechen. Der Reliabilitätsbegriff liefert uns dann auch schon das Stichwort für den Beginn des nächsten Abschnitts.

4.1.3.3. Die Analyse der Validität und Reliabilität der via Zufallsauswahl ermittelten Belegungen für interne Wertschöpfungsbeträge

"Die Gültigkeit (Validität (der Verf.)) einer Messung setzt ihre Zuverlässigkeit (Reliabilität) voraus. Die Zuordnung der Werte soll systematisch vorgenommen werden; hierauf bezieht sich die Reliabilität: auf die Stabilität und Genauigkeit der Messungen sowie die Konstanz der Meßbedingungen" (Friedrichs 1981). Wir können diese begrifflichen Festlegungen, die von Friedrichs im Zuge einer entsprechenden Charakterisierung empirischer Messungen gegeben worden sind, gleichwohl übertragen auf unser Stichprobenprocedere und dessen zufallsdeterminierten Ergebnisraum. Vermöge der Verwendung einer Monte-Carlo-Auswahltechnik kann in jedem Falle die Konstanz der Ziehungsbedingungen garantiert werden. Wie im Rahmen des vorangehenden Abschnittes erläutert, trägt dieses Verfahren den Prämissen einer echten Zufallsauswahl ebenso Rechnung wie der Notwendigkeit, einheitliche Auswahlkriterien für jede einzelne Ziehung vorzuschreiben. Erst die Nutzung von "Fortran-supplied-randoms" kann jedoch Verfahrensstabilität und -genauigkeit sicherstellen. Dies kann darauf zurückgeführt werden, daß solche Zufallszahlengeneratoren für die Vermeidung von Zyklen im Prozeß der Bereitstellung zufälliger Zahlenwerte in verstärktem Maße Sorge tragen. Demnach können wir von einer uneingeschränkten Reliabilität (Verlässlichkeit) der hier angewandten Methodik einer zufallsgesteuerten Auswahl von (i,j)-spezifischen Vorprodukten sprechen, deren jeweilige Kostenwerte als Basisdatengerüst zur Berechnung unserer Internwertschöpfungen dienen (vgl. hierzu Kapitel 2.3.1.1.). Dies gilt umso mehr, als wir, kraft der Definition des in Kapitel 4.3.1.1. erläuterten Schich-

tungsmerkmals, von der faktischen Repräsentativität der Elemente des Stichprobenergebnisraumes im Hinblick auf unsere Zielsetzung ausgehen können, die produkttechnologischen Schwerpunkte künftiger Aktivitäten der Ersatz- und Neuinvestition auszumachen. Mit anderen Worten haben wir genau solche Sachnummern in die w_{it}^{jk} -Basisdatenkonfiguration aufgenommen, die auch tatsächlich in diesem Datenspektrum berücksichtigt werden sollten. Diese Tatsache legt dann ihrerseits Zeugnis ab von der uneingeschränkten Validität des Ergebnisraumes der von uns durchgeführten geschichteten Stichprobe. Dieser Aussage wiederfährt keinerlei Einschränkung dadurch, daß die Merkmalswerte unserer Grundgesamtheit, je nach ihrer zu $t = 0$ realisierten Bezugsart, einerseits nach der Höhe ihrer variablen Fertigungskostenwerte, andererseits aber gemäß den Realisationen ihrer Fremdbezugskosten in die über unser Klassifizierungsmerkmal definierten Schichten verwiesen werden. Man kann eine solche These aus dem Umstande ableiten, daß die beiden, hier genannten Kostenkategorien in signifikanter Weise positiv korrelieren, wobei in aller Regel davon ausgegangen werden kann, daß sich die Aufwendungen für den marktmäßigen Bezug eines Vorprodukts über dem Niveau der variablen Kosten der Eigenfertigung konkretisieren. Solche Einzelteile, deren hausinterne Erstellung kostenintensiv ist, sind unter Entrichtung von (durchschnittlich betrachtet) noch höheren Beträgen von auswärts zu beziehen ($\rightarrow$ Handelsspanne der Zulieferer). Wenn wir bedenken, daß unser Schichtungsmerkmal die zufällige Auswahl teurer Vorprodukte begünstigt,

- so steigt die Wahrscheinlichkeit, daß ein solches Vorprodukt gezogen wird, wenn es zu $t = 0$ in Fremdbezug befindlich ist. Diese Erscheinung geht mit unseren Zwecksetzungen konform.

- so ist mit keiner zielkonfliktären Zunahme der Ziehungswahrscheinlichkeit für diejenigen Teile zu rechnen, welche
 - im Hause relativ billig gefertigt werden können und mithin von geringer Kostenintensität sind,
 - jedoch zu $t = 0$ vom Markt bezogen werden und somit potentiell in eine höhere Kostenkategorie eingeordnet werden könnten.

Dies ist zweifelsfrei aus der Tatsache abzuleiten, daß die Wahrscheinlichkeit für ein solches Vorprodukt, in die Auswahl zu gelangen, auf einem a-priori außerordentlich niedrigen Niveau angesiedelt ist (vgl. hierzu Kapitel 4.1.3.2.). -

Mithin können wir die Untersuchungen dieses Abschnittes mit der Feststellung terminieren, daß die Forderungen nach Reliabilität und Validität der Datenkonfigurationen zur Ermittlung unserer ziel- und handlungsrelevanten Internwertschöpfungen als erfüllt betrachtet werden können.

4.1.4. Die Durchführung einer einfachen Regressionsanalyse zur Erzeugung plausibler Lebensdauerfunktionen für einzelne Anlagenklassen

Wir wollen diesen Abschnitt in zwei aufeinander aufbauende Themenkreise untergliedern. Dabei ist in einem ersten Teilabschnitt über die Gründe zu referieren, welche uns zur Initiierung einer solchen regressionsanalytischen Betrachtung bewogen haben. In diesem Zusammenhange ist auch etwas näher auf den Begriff der Anlagen-Lebensdauerfunktion einzugehen.

Im zweiten Teil dieses Kapitels sind schließlich Anmerkungen zu machen bezüglich des methodischen Aufbaus dieser Untersuchung. Diese Erörterungen sollen begleitet werden von mehr oder minder ausführlichen Hinweisen auf hier verwendete Grundlagen der descriptiven Statistik sowie Maßnahmen zur möglichst komfortablen, praktischen Ausführung des Procederes.

4.1.4.1. Anmerkungen zur Motivation einer regressionsanalytischen Bestimmung charakteristischer Anlagenlebensdauern

Wir haben bereits im Rahmen der Erörterungen des Kapitels 2.3.1. darauf hingewiesen, daß maschinelle Anlagen in der Praxis der industriellen Fertigung länger zu Produktionszwecken genutzt werden, als dies ihrer a-priori festgelegten, betriebsgewöhnlichen Lebens- oder Nutzungsdauer entsprechen würde. Andererseits sind aber etwa auf eine übermäßige Beanspruchung zurückzuführende, erhöhte leistungsabhängige Verschleiße geeignet, solche normalen Lebenserwartungen unter Umständen drastisch zu verkürzen. Hierbei werde die betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer eines k-spezifischen Betriebsmittels ($k = 1, \dots K$) ermittelt unter Berücksichtigung sowohl wirtschaftlicher, als auch technischer Abnutzungen, wie sie sich im Durchschnitt bei einem unter üblichen Bedingungen in einer Schicht operierenden Fertigungsprozeß ergeben. Im Zuge der Ausführungen des Kapitels 4.1.2. ist festgehalten worden, daß die tatsächlichen, anlagenspezifischen Ausfallzeiten kraft der Definition einer geeigneten Schnittstelle zur Anlagen-Datenbank jederzeit in EDV-gerechter Aufbereitung verfügbar sind. Diese Information ist nun insofern einer Erweiterung zu

unterziehen, als es hervorzuheben gilt, daß auch die jeweiligen antizipativ fixierten betriebsgewöhnlichen Lebenserwartungen der hier zu betrachteten Betriebsmittel via Anlagen Datenbank bereitgestellt werden können. Somit steht einer analytischen Erfassung und plausiblen Abgleichung der von uns in der Tat beobachteten Abweichungen zwischen geplanten und effektiv realisierten Ausfallzeiten nichts mehr im Wege. Diese Formulierung macht bereits deutlich, daß wir zum Zwecke der Ermittlung allgemeingültiger und realistischer Anlagenfluktuationszeitspannen weder auf a-priori fixierte, betriebsgewöhnliche Nutzungsintervalle, noch auf ex-post ermittelte, für die Vergangenheit charakteristische Lebensdauern zu recurrieren gedenken. Es muß vielmehr unsere Aufgabe sein, einen ursächlichen Zusammenhang zwischen Soll- und Ist-Ausfallzeiten herzustellen ("Lebensdauerfunktion"), um in Erfahrung zu bringen, welche mittlere Lebenserwartung die Eigenschaften des Nutzungsverlaufs einer bestimmten Anlagenkategorie optimal approximiert. Diese Zielsetzung können wir jedoch nur im Wege einer (einfachen) Regressionsanalyse realisieren, deren methodische Anlage im nachfolgenden Kapitel in der gebotenen Kürze zu skizzieren ist. Nach dem Abschluß dieser Analyse sind wir mithin in der Lage, diejenigen k-spezifischen Betriebsmittel, welche im Rahmen unseres strategischen Entscheidungskalküls Gegenstand von Investitionsaktivitäten sein können, einer geeigneten Lebensdauerklasse m ($m = 1, \dots, M$) zuzuführen, welche für das jeweilige Nutzungsprofil von hinreichend großer Repräsentativität ist.

4.1.4.2. Erläuterungen zum methodisch-statistischen Aufbau der Regressionsanalyse mit Hinweisen auf Maßnahmen zu deren EDV-konformer Durchführung

Beginnen wir mit der Spezifizierung bzw. Zusammenstellung potentiell ansetzbarer Regressionsfunktionen, welche eine bestmögliche, analytisch geschlossene Annäherung der Punktwolke (X, Y_k) realisieren könnten, die wie folgt definiert sei:

$$(X, Y_k) := \left\{ (x_i, y_{jk}^1) \mid i = 1, \dots, I \wedge j = 1, \dots, J_k \wedge \right. \\ \left. l = 1, \dots, L_j; K = 1, \dots, K \right\},$$

wobei

- i ... den Index der für diese Analyse relevanten betriebsgewöhnlichen Nutzungsdauern x_i symbolisiere. Den Ausführungen des Kapitels 2.3.1.1. ist zu entnehmen, daß $I = 20$ gelten muß. Somit können die x_i ($\forall i$) als identische (konstante) Transformation ihrer Indices i interpretiert werden, wenn berücksichtigt wird, daß der Wertevorrat dieser Zeitspannen lediglich natürliche Zahlen umfassen darf.
- j ... den Index der in einer bestimmten Kostenstelle k ($k = 1, \dots, K$) eingesetzten Prozeßtechnologien darstelle. Dann steht
- J_k ... für die Gesamtanzahl der in k genutzten Anlagengattungen.
- y_{jk}^1 ... die tatsächliche, ex-post ermittelte Ausfallzeit eines Repräsentanten l der j -ten Prozeßtechnologie im k -ten Fertigungsbereich repräsentiere. Trivialerweise beschreibt dann
- L_j ... die Anzahl der Einzelmaschinen l aus der Prozeßtech-

nologie j bezüglich Hauptkostenstelle k, für die beobachtete, effektive Ausfallzeiten y_{jk}^1 via Anlagen-Datenbank zur allgemeinen Verfügung stehen.

Hieraus wird offenbar, daß zwischen den Merkmalen X und y_k ein relationaler Zusammenhang der Gestalt

$$R_k : y_k = R_k(X) \quad , \quad \forall k = 1, \dots, K$$

bestehen muß. Dies will besagen, daß die x_i nicht etwa auf ein einziges, sondern auf mehrere y_{jk}^1 abzubilden sind. Wieviele Bilder auf ein bestimmtes $\bar{x}_i$ entfallen, hängt dabei ab von

- der Anzahl der verfügbaren Beobachtungen von (k,j)-spezifischen Ist-Ausfallzeiten, sowie
- der Anzahl von k-spezifischen Prozeßtechnologien j, deren betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer a-priori mit $\bar{x}_i$ Jahren taxiert worden ist.

Diesem Umstand ist dann insbesondere im Zuge der Charakterisierung der regressionsanalytischen Ergebnismerkmale Rechnung zu tragen. So bleibt anzumerken, daß ein möglicher Graph der oben beschriebenen Relation R_k zur Veranschaulichung gelangt.

Nachfolgend gilt es nun, diese Relation durch eine Regressionsfunktion der Gestalt

$$\bar{y}_k = f_k(X) \quad , \quad \forall k = 1, \dots, K$$

auf Basis der Methode der kleinsten Quadrate bestmöglich zu approximieren. Wir bezeichnen den funktionalen Zusammenhang f, wie bereits im Rahmen der Ausführungen des Kapitels 4.1.4.1. eingeführt, als eine Anlagen-Lebensdauer-funktion, deren jeweilige Realisationen $\bar{y}_k$ als realistische mittlere Lebenserwartungen derjenigen k-spezifischen Prozeßtechnologien j interpretiert werden können, deren betriebsgewöhnliche Ausfallzeit antizipativ durch die kor-

respondierenden Urbilder x_i festgelegt worden ist. Die stetig definierten $\bar{y}_k$ sollen nun der letztendlichen Einordnung der Anlagengattungen (k,j) in entsprechende, jedoch diskret definierte Lebensdauerklassen m , $m = 1, \dots M$, dienen. Zu diesem Zwecke müssen die $\bar{y}_k$ -Werte einer Projektion der nachfolgenden Gestalt unterworfen werden:

$$\left(\frac{\bar{y}_k(x_i) - \bar{y}_k(x_{i-1})}{2} ; \frac{\bar{y}_k(x_{i+1}) - \bar{y}_k(x_i)}{2} \right] : = D$$

Es gelte: $D \rightarrow m(x_i)$, wobei $m(x_i) \in S := \{1, 2 \dots 20\} \wedge D$.

Falls $S = \{ \}$, so nimmt $m(x_i)$ einen Wert aus $\{1, 2 \dots 20\}$ an, welcher zu den Intervallgrenzen von D einen minimalen Abstand besitzt. Ist S dagegen keine einelementige Menge (Elementarmenge), so muß D in zwei oder mehr Partialintervalle aufgespalten werden, daß die eindeutige Zuordnung der jeweiligen $\bar{y}_k$ -Werte zu einer einzigen natürlichen Zahl $m(x_i)$ gelingt. Diese Aufspaltung hat in jedem Falle den Gesetzen arithmetischer Rundungsprozesse Genüge zu verschaffen. Die nachfolgenden Musterbeispiele dienen der Veranschaulichung dieser Sachverhalte:

Wenn

$$D = (0,9 ; 1,4]$$

$$D = (1,3 ; 1,4]$$

$$D = (1,9 ; 4,1]$$

$$D = D_1 \vee D_2 \vee D_3 =$$

$$= (1,9 ; 2,5] \vee (2,5 ; 3,5] \vee (3,5 ; 4,1]$$

dann

$$m(x_i) = 1$$

$$m(x_i) = 1$$

$m(x_i)$ = zunächst unbestimmt, daher:

$$m(x_i) = \begin{cases} 2 \\ 3 \\ 4 \end{cases}$$

Im letzten Falle kann $m(x_i)$ nun am besten durch diejenige natürliche Zahl charakterisiert werden, welche zu $\bar{y}_k(x_i)$ einen minimalen Abstand aufweist. Mithin kann auch hier der Eindeutigkeit der Zuordnung

$$x_i \longrightarrow m(x_i) , m(x_i) \in \{1, 2 \dots 20\}$$

Rechnung getragen werden. Ein äquivalentes Procedere empfiehlt sich natürlich auch im Falle

$$D = (1, 3; 1, 6] = D_1 \vee D_2 = (1, 3; 1, 5] \vee (1, 5; 1, 6] :$$

$$\implies m(x_i) = \min_{m(x_i)} \left[\left| \bar{y}_k(x_i) - 1 \right| ; \left| \bar{y}_k(x_i) - 2 \right| \right] \pm \bar{y}_k(x_i)$$

Soviel zur Ermittlung der Besetzung unserer allgemeinen Lebensdauerklassen m ($m = 1, \dots M$) auf der Basis realistischer, mittlerer Lebenserwartungen $\bar{y}_k$ für k -spezifische Prozeßtechnologien verschiedener Gattungen j . Wir wissen aus dem Studium des Kapitels 2.3.1., daß sich unser strategisches Entscheidungskalkül auf den Ansatz von $M = 7$ Lebensklassen beschränkt, deren Besiedelung durch eine entsprechende Projektion der Klassen $m = 8$ bis $m = 20$ auf $m = 7$ ermittelt wird. Auf eine weitergehende Erörterung jenes Transformationsprozesses an dieser Stelle kann somit verzichtet werden. -

Widmen wir uns nunmehr in aller Kürze der Fragestellung, wie eine geeignete Spezifizierung der Regressionsfunktion $\bar{y}_k = f_k(X)$, $k = 1, \dots K$, vorzunehmen wäre. Hierzu bieten sich selbstverständlich einige der wichtigsten Funktions-Grundtypen der Algebra an. Die von uns verwendeten Ansätze sind der nachfolgenden Katalogisierung zu entnehmen, wobei von Spezifizierungen mit mehr als zwei Formvariablen aus Gründen einer bequemerem (EDV-mäßigen) Handhabbarkeit abstrahiert wurde: Seien $b_0, b_1 \in \mathbb{R}$.

a) Polynomfunktionen

$$\begin{aligned} 1. \bar{y}_k &= b_0 + b_1 x_i \\ 2. \bar{y}_k &= b_0 + b_1 x_i^2 \\ 3. \bar{y}_k &= b_0 x_i + b_1 x_i^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4. \bar{y}_k &= b_0 + b_1 x_i^3 \\ 5. \bar{y}_k &= b_0 x_i + b_1 x_i^3 \\ 6. \bar{y}_k &= b_0 x_i^2 + b_1 x_i^3 \\ 7. \bar{y}_k &= b_0 + b_1 \sqrt{x_i} \end{aligned}$$

b) Potenzfunktionen

$$1. \bar{y}_k = b_0 + x_i^{b_1}$$

$$2. \bar{y}_k = b_0 \cdot x_i^{b_1}$$

c) Allgemeine Exponentialfunktionen

$$1. \bar{y}_k = b_0 + b_1^{x_i}$$

$$2. \bar{y}_k = b_0 \cdot b_1^{x_i}$$

d) Allgemeine Logarithmusfunktionen

$$1. \bar{y}_k = b_0 + b_1 \log x_i$$

$$2. \bar{y}_k = b_0 \cdot b_1 \log x_i$$

Für jede Punktwolke R_k ist nun auf manuellem Wege mittels simpler visueller Abschätzung einer der hier aufgeführten Funktionstypen auszuwählen, von dem man glaubt, daß er zur Erzielung eines bestmöglichen Fit geeignet sei. Sodann wird eine vollständig EDV-gestützte Bestimmung der zugehörigen Regressionskoeffizienten initiiert. Die simultane Lösung des charakteristischen regressionsanalytischen Gleichungssystems sei für den Fall a) 1. (lineare Einfachregression) im folgenden schemenhaft umrissen. Wir betrachten zu diesem Zwecke einen bestimmten Fertigungsbereich k und definieren

$$N := \sum_{j=1}^{J_k} 1_j$$
 zur Gesamtzahl der beobachteten, und damit mit den korrespondierenden I betriebsgewöhnlichen Ausfallzeiten abzugleichenden Nutzungsinter-

valle. Der Laufindex n sei dann der Menge $\{1, 2 \dots N\}$ entnommen. Der Regressand y_{jk}^1 kann somit zu y_{kn} reduziert werden.

Nunmehr ist

$$\text{Min}_{b_0, b_1} \sum_{n=1}^N (y_{kn} - \bar{y}_k)^2 = \sum_{n=1}^N (y_{kn} - b_0 - b_1 x_i)^2 \text{ zu fordern,}$$

wobei $i = 1, \dots, I$ gelte. Wir differenzieren nach b_0 sowie b_1 und erhalten unter Annahme einer aus dem Rohdatenmaterial via R_k ableitbaren, festen Zuordnung $x_i \rightarrow y_{kn}$, so daß $i \equiv n \wedge I \equiv N$:

$$\frac{\partial f}{\partial b_0} : = - 2 \sum_n (y_{kn} - b_0 - b_1 x_i) : = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial f}{\partial b_1} : = - 2 \sum_n x_i (y_{kn} - b_0 - b_1 x_i) : = 0 \quad (2)$$

Diese beiden Beziehungen nennt man charakteristische oder auch Normalgleichungen eines Regressionssystems. Gemäß den Optimalitätsbedingungen erster Ordnung setzen wir diese gleich Null und erhalten folgende Relationen:

$$\text{aus (1) : } \sum_n y_{kn} - N \cdot b_0 - b_1 \sum_i x_i = 0 \iff$$

$$b_0 \frac{1}{N} (\sum_n y_{kn} - b_1 \sum_i x_i) \quad (1') / (\text{in (2)})$$

$$(2) : \sum_n x_i y_{kn} - \left[\frac{1}{N} (\sum_n y_{kn} - b_1 \sum_i x_i) \right] \cdot$$

$$\cdot \sum_i x_i - b_1 \sum_i x_i^2 = 0$$

$$\iff \sum_n x_i y_{kn} - \frac{1}{N} \sum_i x_i \sum_n y_{kn} + \frac{1}{N} b_1 (\sum_i x_i)^2 - b_1 \sum_i x_i^2 = 0$$

$$\iff b_1 = \frac{\sum_n x_i y_{kn} - \frac{1}{N} \sum_i x_i \sum_n y_{kn}}{\sum_i x_i^2 - \frac{1}{N} (\sum_i x_i)^2}$$

$$\Longleftrightarrow b_1 = \frac{\frac{1}{N} \sum_n x_i y_{kn} - \frac{1}{N} \sum_i x_i \cdot \frac{1}{N} \sum_n y_{kn}}{\frac{1}{N} \sum_i x_i^2 - \frac{1}{N} \sum_i x_i \cdot \frac{1}{N} \sum_i x_i}$$

Mit $\mu_x := \frac{1}{I} \sum_i x_i \equiv \frac{1}{N} \sum_i x_i$ sowie $\mu_y :=$ folgt:

$$(2)'' : b_1 = \frac{\frac{1}{N} \sum_n x_i y_{kn} - \mu_x \mu_y}{\frac{1}{N} \sum_i x_i^2 - \mu_x^2}$$

Wenn man berücksichtigt, daß

$$\frac{1}{N} \sum_n x_i y_{kn} - \mu_x \mu_y := G_{xy}, \text{ sowie}$$

$$\frac{1}{N} \sum_i x_i^2 - \mu_x^2 := G_x^2 \text{ gilt,}$$

erhält man:

$$(2)''' : b_1 = \frac{G_{xy}}{G_x^2} \quad (\text{in (1)}) \Rightarrow$$

$$(1'') : b_0 = \frac{1}{N} \sum_n y_{kn} - \frac{G_{xy}}{G_x^2} \cdot \frac{1}{N} \sum_i x_i \Longleftrightarrow$$

$$b_0 = \mu_y - \frac{G_{xy}}{G_x^2} \cdot \mu_x$$

Selbstverständlich sind diese Regressionskoeffizienten im Falle des Ansatzes nichtlinearer Regressionsbeziehungen im Wege der Einführung geeigneter Substitutionsrelationen zu ermitteln (vgl. hierzu Anderson 1978).

Nach erfolgter Spezifizierung der optimalen Realisationen jener Regressionskoeffizienten ist eine "Qualitätskontrolle" des Approximationsverhaltens angesagt, wie es für den von uns ausschließlich aufgrund visueller Kriterien auserwählten Funktions-Grundtypus charakteristisch ist. Diese Kontrolle ist mittels Berechnung der zugehörigen Realisation des Bestimmtheitsmaßes durchzuführen. Liegt der in diesem Zusammenhange ermittelte Wert unter der Schranke von 0,81 (entsprechend einem Korrelationskoeffizienten von 0,9), so empfehlen wir die Wiederholung der regressionsanalytischen Berechnungen auf der Basis eines signifikanteren Funktionszusammenhangs, der mit erhöhter Sorgfalt dem weiter oben präsentierten Basiskatalog zu entnehmen ist. -

Abschließend sei noch darauf hingewiesen, daß erst entsprechende Datenüberleitungsläufe aus dem Informationsfundus der Anlagen-Datenbank die Bereitstellung der hier zu verarbeitenden Merkmalskategorien $(X, Y_k) = \{ (x_i, y_{jk}^1) / i = 1, \dots, I \wedge j = 1, \dots, J_k \wedge l = 1, \dots, L_j; k = 1, \dots, K \}$ sicherstellen kann. Dies stellt jedoch einmal mehr unter Beweis, daß die praxisgerechte und komfortable Umsetzung quantitativer Planungsansätze erst dann gewährleistet ist, wenn die theoretischen Denkstrukturen EDV-gerecht durchorganisiert sind.

4.2. Die Darstellung von Maßnahmen zur benutzerfreundlichen Gestaltung des strategischen Planungsmodells als "Knopfdrucksystem"

"Der Mensch ist stets von der Unfähigkeit geprägt, vorgefaßte Meinungen aufgrund objektiver, neu hinzugekommener Informationen zu ändern. Es wird hier das Phänomen der kog-

nitiven Dissonanz wirksam. Der alten Meinung (scheinbar) widersprechende, neu hinzukommende Informationen führen ein kognitives Ungleichgewicht herbei. Der Mensch versucht dann, durch Informationssuchprozesse in seinem Gedächtnis und in seiner Umwelt bestehende Meinungen oder getroffene Entscheidungen nachträglich zu rechtfertigen. Der Mensch ist also aufgrund von Verhältnisgesetzmäßigkeiten unfähig, vorhandene Informationen rational auszuwerten. Er interpretiert objektive Informationen immer subjektiv" (Roelle 1971).

In dieser Art und Weise sind viele der ersten Ansätze formuliert, welche in der neueren Literatur zur Erklärung des Phänomens der Akzeptanzproblematiken herangezogen werden, wie sie im Zuge der Implementierung von betrieblichen Informationssystemen in charakteristischer Weise auftreten. Im folgenden wollen wir uns jedoch nicht auf bloße Wiederholung der diesbezüglich vertretenen Thesen beschränken. Wir werden vielmehr ganz gezielt einige der Gründe zur Sprache bringen, die unserer Meinung und praktischen Erfahrung nach dafür verantwortlich sind, daß potentielle Systemanwender der Einführung eines für sie völlig neuartigen Informationssystems oftmals dysfunktional gegenüberstehen.

So betrachtet der Entscheidungsträger ein neugeschaffenes System zunächst primär als ein Objekt, welches ihn früher oder später zum Eintritt in einen intensiven Lernprozeß zwingt. Er muß nicht nur den Umgang mit diesem neuartigen Hilfsmittel einstudieren, sondern auch eine ganze Menge an Zeit und Verständnis investieren, um die hinter den Kulissen stattfindenden Systemprozeduren in ihrer groben Funktionsweise kennenzulernen. Nur so wird er sich vollständige

Kenntnis verschaffen können vom weiten Spektrum der sich hier bietenden Anwendungsmöglichkeiten. Leider entspricht es aber der naturgegebenen inneren Trägheit des menschlichen Wesens, lieber auf eingefahrenen Gleisen weiterzufahren, anstatt sich völlig neue, nach einer gewissen Einarbeitungsphase in der Tat komfortablere Wege zu erschließen.

Des weiteren ist hervorzuheben, daß es eine ganze Reihe von Menschen gibt, welche insbesondere dem zur Implementierung quantitativer Planungsmodelle unabdingbaren Hilfsmittel der elektronischen Datenverarbeitung mit großer Skepsis gegenüberstehen. Besonders diejenigen Personen, die bis dato noch keinen unmittelbaren Kontakt mit der automatisierten Datenverarbeitung hatten und somit deren Vor- und Nachteile nur vom Hörensagen kennen, sind voller Aversionen und schirmen sich mit teilweise hanebüchenen Vorurteilen gegenüber jeglichen Versuchen ab, ihnen die Errungenschaften und den außerordentlichen Komfort dieses zeitgemäßen Hilfsmittels nahezubringen.

An dieser Stelle gilt es nun zu betonen, daß wir im Zuge der praktischen Einführung unseres strategischen Modellsystems zur Fertigungs- und Investitionsprogrammplanung erfreulicherweise keinerlei Akzeptanzprobleme der oben geschilderten Art zu bewältigen hatten. Wir führen dies zurück

- einerseits auf die Wirksamkeit der von uns bereits im Vorfelde der Systemimplementierung ergriffenen Maßnahmen zur möglichst benutzerfreundlichen Ausgestaltung unseres strategischen Planungsmodells, zu denen nachfolgend kurz Stellung genommen werden soll, sowie
- andererseits auf die Mündigkeit der Adressaten unseres Modellsystems zur quantitativen Unternehmensplanung. So

hat man frühzeitig erkannt, daß ein solches Informationsinstrumentarium entscheidungsunterstützenden Charakter hat und somit eine spürbare Vereinfachung des "Business as usual" für jeden angehenden Systembenutzer zeitigt.

Wir gehen nun über zur Kurzbeschreibung der von uns initiierten Maßnahmen zur anwenderorientierten Ausgestaltung unseres strategischen Planungsmodells. Dieses Aktionsbündel zur vollständigen Antizipation jeglicher Akzeptanzprobleme wurde unter strikter Beachtung des nachstehenden Leitsatzes konzipiert:

"Modellgestützte Unternehmensplanung nicht gegen, sondern für den Menschen, dem wieder mehr Zeit für seine ureigenste Tätigkeit, das echt kreative Denken, zur Verfügung stehen soll."

Eine solche, gegenüber den Systemadressaten selbst abgegebene Erklärung ist zur Schaffung von Vertrauen geeignet, so sie ernst gemeint ist und dementsprechend vorgetragen wird. Darüber hinaus soll der Systembenutzer sehen und spüren, daß man seitens der Systementwickler alle nur denkbaren Schritte unternommen hat, um ihm den (täglichen) Umgang mit dem neuen Hilfsmittel so weit als irgend realisierbar zu erleichtern. Des weiteren sollten sich alle im System-Development involvierten Personen in die Aufgabe teilen, jeden potentiellen Systemanwender im Rahmen entsprechender Terminal-Sessions gewissenhaft und exklusiv mit dem Systemprozedere vertraut zu machen und, wenn erforderlich, solange nach Kräften zu unterstützen, bis ein selbständiges Arbeiten sichergestellt ist. Selbstverständlich kann dieser Service nur deshalb in einer derartig extensiven Form geboten werden, weil der mit Aufgaben der strategischen Planung betraute Personenkreis relativ klein

und überschaubar ist. Darüber hinaus haben wir dafür gesorgt, daß ein von unserem strategischen Planungsmodell Gebrauch machender Entscheidungsträger einen Großteil der Aktivitäten, welche zur Ingangsetzung eines modellgestützten Lösungsprozesses bezüglich seiner spezifischen, aktuellen Problemstellungen vonnöten sind, direkt an die EDV delegieren kann (vgl. hierzu die Kapitel 4.1.2. bis 4.1.4.). Hiervon ausgenommen sind freilich persönliche Kontakte mit den im Abschnitte 4.1.1. bezeichneten Stellen und Abteilungen zum Zwecke der Bereitstellung problemspezifischer Prognosedaten. Die wenigen, vom Systemanwender selbst zu entfaltenden Aktivitäten zur Gewinnung modellgestützter Lösungen für seine strategischen Entscheidungsprobleme der Akquisitions- und Investitionspolitik werden durch ein höchst komfortables, manuell zu bedienendes Dialogprogramm abgedeckt, welches folgende Optionen anbietet:

1. Listenausgabe des problemspezifischen Inputdatenspektrums
Vorausgesetzt, daß für die Bereitstellung dieser Datenkonfigurationen gemäß den Ausführungen des Kapitels 4.1. Sorge getragen wurde, kann sich der Benutzer hierdurch, sozusagen per "Knopfdruck", ein umfassendes Inputdaten-Listing erstellen lassen. Übersichtlich gegliedert nach wertschöpfungsspezifischen und prozeßtechnologie-relevanten Informationen sowie Finanzmitteldaten, vermag dieses Outlist in sehr effizienter Weise Aufschluß zu geben über etwaige Unstimmigkeiten, die den mit der Datenbereitstellung beauftragten dezentralen (Planungs-) Abteilungen im Zuge der ebenfalls dialogorientierten Übergabe dieser Daten an zentrale Informationsspeicher unter Umständen recht häufig unterlaufen kann. In diesem Zusammenhange sei noch angemerkt, daß wir uns bereit erklärt haben, künftighin sämtliche, dezentral angelegten Datenbeschaffungsaktivitäten zu koordinieren.

Dieses weitere Zugeständnis an die Adresse der Systemanwenderschaft gelte jedoch nur für eine erste Übergangszeit, in der die von uns geknüpften Informationsaustauschbeziehungen zwischen datenbeschaffenden Stellen, Systementwicklern und den Entscheidungsträgern der betrieblichen Investitionsplanung (Systemadressaten) zu vertiefen sind. In dieser Zeit werden wir auch Sorge tragen für die praktische Durchführung

- der in Kapitel 4.1.3. erläuterten geschichteten Stichprobe zum Zwecke der Ermittlung repräsentativer Internwertschöpfungen, sowie
- der im Abschnitte 4.1.4. präsentierten Einfachregression, welche bekanntlich die effektive Besetzung der modellrelevanten Anlagen-Lebensdauerklassen m ($m = 1, \dots, M$) mit entsprechenden k -spezifischen Prozeßtechnologien zum Ziele hat.

Nach Ablauf besagter Übergangsfrist sind die genannten Aufgaben von den planenden Stäben der betrieblichen Investitionsplanung wahrzunehmen, die sich in der Zwischenzeit mit diesen Systematiken intensiv befassen und vertraut machen können.

2. Auswertung

Der Entscheidungsträger spezifiziert nach vollzogenem Aufruf dieser Dialogoption die wenigen ziel- oder handlungrelevanten Umweltparameter, für deren Bereitstellung er selbst Sorge tragen muß. Sodann wird ohne sein weiteres Zutun eine Auswertung unseres (erweiterten) strategischen Modellsystems initiiert, dessen Koeffizientenmatrizen nunmehr vollständig belegt sind. Den Ausführungen des Kapitels 3.3.3. ist zu entnehmen, daß diese Auswertungsprozedur via Fortran-V im Batch-Processing erfolgt. Demzufolge kann der Systemanwender meist erst am nächsten Tage über entsprechende Auswer-

tungsstatistiken verfügen. Wir haben im Zuge der Ausführungen des Kapitels 3.3.2.2.2. darauf hingewiesen, daß es, in Anbetracht der strategischen Dimension der hier zu erörternden Problemstellungen, unerheblich ist, ob diese modellgestützt gewonnenen Erkenntnisse bereits am Tage der Initiierung des Auswertungslaufes, oder aber erst für den nächsten Besprechungstermin des Folgetags vorliegen. Die Erfahrung hat uns gelehrt, daß hierdurch auch keinerlei Akzeptanzprobleme heraufbeschworen werden.

Es ist hervorzuheben, daß das Druckbild der von uns konzipierten Auswertungsstatistiken sehr klar und verwechslungssicher strukturiert worden ist. Der Entscheidungsträger erhält dabei nur diejenigen Informationen geboten, die für ihn de facto von Interesse sind. Wir sprechen in diesem Zusammenhange von einem benutzerorientierten Outputdaten-Listing.

Des weiteren sei betont, daß wir das vorstehende anwenderspezifische Dialogprogramm in der problemorientierten Sprache APL programmiert haben, welche zur EDV-mäßigen Bewältigung solcher im Time-Sharing-Betrieb zu organisierenden Dialogprobleme geradezu prädestiniert ist. Die Effizienz eines APL-Dialogprogramms dokumentiert sich in der Option der Generierung von Bildschirmmasken, deren Erzeugung in Fortran-V-Programmpaketen (mangels Verfügbarkeit von Fullscreen-Editoren) nicht gewährleistet ist. So bleibt zu erwähnen, daß der Aufruf unserer Fortran-V-Version des algorithmischen Lösungsprocedures nach Pierre-Lowe unter APL im Wege eines "Submit-Jobs" keinerlei Schwierigkeiten bereitet, da beide Programmiersprachen über ein gemeinsames Trägersystem (Betriebssystem) verfügbar sind.

3. Ändern in existierenden Datenbeständen

Diese Option gibt dem Entscheidungsträger die Möglichkeit, die Belegungen der Koeffizientenmatrizen der modellierten und zur Lösung anstehenden Problemstellung zielgerichtet zu modifizieren und ggf. auf den neuesten Erkenntnisstand zu bringen. Somit werden hierdurch auch die Voraussetzungen zur Durchführung manuell induzierter Sensitivitätsanalysen geschaffen. Hierunter verstehen wir, im Gegensatz zur modellgesteuerten Empfindlichkeitsanalyse, die erneute Initiierung eines Auswertungslaufes auf Basis beliebig modifizierter Inputparameterkränze durch den Entscheidungsträger selbst. Dann diene die vierte Dialogoption der

4. Durchführung systemgestützter Sensitivitätsanalysen, wie sie im Zuge des Kapitels 3.4. zur extensiven Darstellung gelangt sind. Es bleibt darauf hinzuweisen, daß diese Analysen kraft der Auswahl dieser Option ohne weiteres Zutun des Systembenutzers ablaufen. -

Abschließend wollen wir hinweisen auf ein für unser oben präsentiertes Dialogsystem charakteristisches und auch im allgemeinen zur Strukturierung des APL-gestützten Time-Sharing-Betriebs bevorzugt verwandtes Organisationsprinzip: Durch Hintereinanderschaltung zweier oder mehrerer Anzeigeformate (Bildschirm- oder Dialogmarken) wird eine eindeutige Dialoghierarchie dergestalt erzeugt, daß ausschließlich von einem auf der obersten Rangstufe stehenden Auswahlbild ausgehend eine fest abgegrenzte Anzahl von Systemfunktionen (Optionen) bedient wird, die ihrerseits wiederum von entsprechenden Anzeigenformaten eröffnet werden. Dabei können letztere entweder unmittelbar ausführenden Charakter haben (vgl. Option (2)), oder auch, wie im Falle der Optionen (3) oder (4) gegeben, ein fest umrissenes Spektrum von Unter-

funktionen zur Wahl stellen, die möglicherweise ebenfalls über entsprechende Startbilder verfügen usw.

Faßt nun ein Benutzer, der sich momentan auf einer beliebigen, untergeordneten Hierarchiestufe des Systemdialogs bewegt, den Entschluß, diesen Dialog zu suspendieren, so ist er genötigt, die Skala der auf diesem "Systemast" placierten Menus rekursiv zu durchschreiten, bis schließlich das generelle Einstiegsbild der obengenannten vier Grundoptionen auf seinen Bildschirm zurückkehrt. Erst hier bietet sich im Wege der Betätigung eines allgemeinen Rückkehr-Codes die Möglichkeit zum endgültigen Abschluß des Dialogs.

Einhellig mit denjenigen Entscheidungsträgern, die bereits erste, praktische Erfahrungen mit unserem strategischen Planungsmodell gesammelt haben, sind wir der Meinung, daß eine derartig straffe Organisation der Mensch-System-Interaktion ganz wesentlich zur Steigerung des Bedienungskomforts beiträgt. Der Benutzer fühlt sich so in gewisser Weise "geborgen", da stets von unsichtbarer, aber sicherer Hand geleitet, und baut demzufolge ganz instinktiv gewisse, stets latent vorhandene Hemmschwellen ab. -

Im übrigen sei betont, daß wir im Zuge der Erarbeitung des oben skizzierten Dialogsystems spezielle Anregungen und Wünsche der später hiervon tangierten Anwenderschaft a-priori mit in den Gestaltungsprozeß einbezogen haben. Wir sprechen in diesem Zusammenhange von Systementwicklung für und mit dem Benutzer. Selbstverständlich werden wir auch künftig ein offenes Ohr haben für alle weiteren, seitens der Benutzerschaft vorgetragenen Kritikpunkte und sinnvollen Änderungsvorschläge. Man bedenke, daß kontinu-

ierliche und konstruktiv geäußerte Kritik ganz offenkundig unter Beweis stellt, daß der jeweilige Benutzer willens ist, am Werdegang sowie an der Fortentwicklung des Planungssystems zu partizipieren. Der Wille zur Partizipation ist indes ein idealer Maßstab für den Grad der allgemeinen Akzeptanz, den das System bei der Gesamtheit der Anwenderschaft genießt. -

Soweit die Darlegung der konkreten Maßnahmen, die wir zur möglichst benutzerfreundlichen Gestaltung unseres strategischen Planungsmodells als "Knopfdrucksystem" in die Wege geleitet haben. Zur Erzeugung einer breiten Basis des gegenseitigen Vertrauens zwischen Systementwicklern einerseits und Entscheidungsträgern andererseits können wir es jedoch damit nicht bewenden lassen. Um der Forderung nach einer Systementwicklung für und mit dem Benutzer in umfassender Weise gerecht zu werden, bedarf es auch der Erarbeitung und Präsentation allgemeiner Benutzerhilfen. Alle diesbezüglichen Aktivitäten konkretisieren sich in mehr oder minder intensiver Weise an der Person des Entscheidungsträgers. Im einzelnen wollen wir hierunter die nachfolgenden Maßnahmen subsumieren, die wir selbstverständlich bereits im Vorfelde der endgültigen Systemimplementierung initiiert haben:

1. Jeder potentielle Benutzer ist im Umgang mit dem System eingehend zu unterweisen. Darüber hinaus muß die jederzeitige Verfügbarkeit eines Systementwicklers oder -betreuers zur Beantwortung sachspezifischer Fragestellungen theoretischer und/oder praktischer Natur sichergestellt sein. Wir sind der Meinung, daß schon allein die Anwesenheit des Experten, welcher bei Bedarf hilfestellend eingreifen kann, dem Benutzer die latent vorhandene Scheu vor dem neuartigen Hilfsmittel nimmt, weswegen

letztenannter mit Sicherheit beherzter an seine Aufgabe herantreten wird.

2. Wir empfehlen die Durchführung häufiger, in möglichst regelmäßigen Abständen wiederkehrender Benutzerschulungen. Deren Sinn und Zweck besteht jedoch weniger in der Vermittlung rein faktischen Wissens an die Benutzerschaft, sondern vielmehr in einem möglichst intensiven, mutuellen Austausch von praktischen Erfahrungen im (täglichen) Umgang mit dem neuen Planungssystem. Dabei soll sich der Anwender, wie der Begriff "Benutzerschulung" fälschlicherweise nahelegen mag, in keinsten Weise etwa als Schüler fühlen. Systembenutzer und -entwickler treffen sich in zwangloser Atmosphäre, diskutieren über zwischenzeitlich aufgetretene Probleme, sinnieren über Möglichkeiten zu deren Abhilfe und erörtern weitergehende Maßnahmen zur Verbreiterung des Spektrums potentieller Anwendungsgebiete des vorstehenden Modells zur quantitativen strategischen Unternehmensplanung. Mithin können wir in diesem Zusammenhange auch oder sogar besser von der Initiierung regelmäßiger System-Reviews sprechen.
3. Des weiteren ist die Erstellung einer umfassenden, von den betroffenen Entscheidungsträgern über Bildschirm abrufbaren Systemdokumentation ins Auge zu fassen, welche letztlich der Verwirklichung der nachfolgenden Zielsetzungen dienen soll:
 - In Anbetracht der Tatsache, daß seitens der Systementwickler zu bestimmten Zeiten keine kompetenten Ansprechpartner zur Disposition stehen könnten, muß jedem Systembenutzer die Möglichkeit verschafft werden, sich selbständig und möglichst rasch über wichtige Details der Anwendbarkeit und praktischen Handhabung unseres strategischen Planungssystems zu in-

formieren. In diesem Sinne übernimmt die Systemdokumentation eine "Betriebsanleitungsfunktion".

- Jedes Planungssystem sieht sich im Laufe der Zeit mit einer Flut von Änderungswünschen und Verbesserungswünschen und Verbesserungsvorschlägen seitens der Anwenderschaft konfrontiert. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit einer permanenten Systempflege und -wartung. Aus den verschiedensten Gründen können solche Tätigkeiten jedoch nicht immer von den Konstrukteuren des Systems persönlich übernommen werden. Andererseits ist eine fallweise mit der Systempflege betraute Person, die nicht an dessen Entwicklung partizipiert, nur dann in der Lage, entsprechende Aufgaben in höchst effektiver Weise wahrzunehmen, wenn ein allumfassender Bericht über Sinn und Zweck, Funktionsweise sowie praktische Handhabung des jeweiligen Planungskonzepts jederzeit zur Disposition steht. In diesem Sinne übernimmt die Systemdokumentation also eine "Wartungs- bzw. Reparaturanleitungsfunktion". -

Wir fassen nun kurz zusammen: "Wenn eine Systemstudie damit endet, daß ein Schlußbericht auf einem Regal verstaubt, so hat sie ihr Ziel nicht erreicht" (Hanssmann 1978).

Daß die hier vorliegende Systemstudie ein derartiges Schicksal nicht teilen muß, ist in keinster Weise etwa dem Zufall zu verdanken. Vermöge einer konsequent benutzerfreundlichen Ausgestaltung unseres Planungssystems selbst sowie der permanenten Bereitstellung allgemeiner Anwenderhilfen in Verwirklichung des Leitprinzips der partizipativen System(fort)entwicklung ist es uns in überzeugender Weise gelungen, ein strategisches Modellsystem zur quantitativen Akquisitions- und Investitionsplanung ins Leben zu rufen, welches voll-

ständig frei ist von jeglicher Form der Akzeptanzproblematik. Mithin ist man seitens der Entscheidungsträger der betrieblichen Investitionsplanung bereit, unserem strategischen Optimierungssystem den ihm gebührenden Platz im "Business as usual" einzuräumen.

4.3. Das hierarchisch strukturierte Modellsystem zur strategischen und operativen Fertigungs- und Investitionsprogrammplanung als integratives Planungskonzept

Befassen wir uns in einem ersten Teilabschnitt mit einer knappen Präsentation der essentiellen Wesenszüge eines operativen Planungsmodells zur wirtschaftlichen Teilefertigung, welches zu unserem, im Rahmen der vorliegenden Studie dargelegten strategischen Planungsansatz in permanente Interaktion treten soll. In diesem Zusammenhange sollen selbstverständlich auch die mathematischen Grundstrukturen des operativen Modellsystems in hinreichend detaillierter Form zur Sprache kommen.

Schließlich stellen wir in einem zweiten und letzten Abschnitt die gedankliche Verbindung dieser beiden aufeinander aufbauenden, quantitativen Planungskonzepte unterschiedlichen Abstraktionsgrades sowie verschiedenartigen Aggregationsniveaus her. Diese Verknüpfung dokumentiere sich in einem hierarchisch aufgebauten, integrativen Entscheidungskalkül einer allumfassenden Fertigungs- und Investitionsprogrammplanung, dessen Generation und Implementierung wir als das letzte und eigentliche Ziel der vorstehenden Analyse proklamieren wollen.

4.3.1. Die Kurzbeschreibung des operativen Planungsmodells zur wirtschaftlichen Teilefertigung

Bereits im Rahmen der Erörterungen des Abschnittes 1.4. haben wir kurz Stellung genommen zur grundlegenden Zielsetzung des hier zur Diskussion stehenden, operativen Modellsystems. Sie sei an dieser Stelle noch einmal rekapituliert: Es ist eine kurzfristig (einjähriger Planungshorizont) kostenoptimale Zuteilung des jeweiligen, vom strategischen Oberbau her fixierten Teilebedarfs auf hausinterne Kapazitäten eines exakt umrissenen Fertigungsbereichs ((Haupt-)Kostenstelle) sowie externe Zulieferer anzustreben. Mithin kann dieses, im Unternehmen bereits vor Jahresfrist erfolgreich implementierte, operative Planungskonzept auch als Entscheidungsmodell zur (kosten-)optimalen, simultanen Wahl der Bezugsart für Vorprodukte größerer Untersuchungseinheiten bezeichnet werden, welches die Endogenisierung der Kapazitätswirkungen solcher Entscheidungen zwingend vorsieht.

Den gedanklichen Anstoß zur Entwicklung dieses Optimierungsmodells lieferte eine konkrete Untersuchung der Kunststoffteilefertigung, welche eine befriedigende Klärung der Bezugsartfrage für die Gesamtheit aller hier zu erstellen- den bzw. potentiell produzierbaren Einzelteile zum Inhalt hatte. Komplexität und Informationsvielfalt der zu erörternden Aufgabenstellung verhinderten eine entsprechende, satisfizierende Lösung dieser Problematik zum damaligen Zeitpunkt. Hieraus gewann man zunächst die Erkenntnis, daß Analysen des bezeichneten Umfangs auf manuellem Wege nicht in den Griff zu bekommen seien.

Darüber hinaus war zu konstatieren, daß die Durchführung

von Bezugsartanalysen für größere Untersuchungseinheiten bei simultaner Berücksichtigung bestmöglicher Kapazitätsauslastungen eine stetig zunehmende und zugleich generelle, mit anderen Worten unternehmensweite Bedeutung zu erlangen im Begriffe war. Man sah sich aus diesem Grunde gezwungen, ein EDV-gestütztes Optimierungsmodell zur kurzfristigen, simultanen Produktionsprogramm- und Kapazitätsplanung zu entwickeln. Diese Modellkonzeption befaßt sich mit der Lösung der nachfolgend kurz umrissenen Problemstellung:

Die Frage "Eigenfertigung oder Fremdbezug" bestimmter Vorprodukte kann keinesfalls im Wege isolierter, einmaliger Entscheidungen bewältigt werden. In Anbetracht der sich im Zeitablauf ständig ändernden Einflußfaktoren (variable Hausfertigungskosten, Fremdbezugspreise, Bedarfsmengen u.ä.m.), die maßgeblich zu den getroffenen Entscheidungen geführt haben, ist in regelmäßigen Zeitabständen eine Überprüfung dieser Entscheidungen notwendig.

In der bis dato üblichen Entscheidungspraxis wird die Wahl zwischen Eigenfertigung und Fremdbezug auf isolierte Einzelproduktbetrachtung abgestellt. Die Schwächen eines solchen Ansatzes dokumentieren sich in

- einer Zeitpunktbezogenheit, sowie der Tatsache, daß
- Fertigungsinterdependenzen, die sich in der Konkurrenz der Elemente eines bestimmten Teilespektrums um knappe, gemeinsame Kapazitäten niederschlagen, bewußt außer acht gelassen werden. Die unvermeidliche Folge sind
 - teure Leerkapazitäten und/oder
 - hohe Zusatzkosten des Fremdbezugs bei gegebener Bedarfsmenge und voll ausgelasteten internen Fertigungspotentialen ("Infelxibilitätskosten").

Somit kann das Lastenheft des vorstehenden operativen Planungsmodells noch einmal wie folgt charakterisiert werden: Die (operative) Entscheidung zwischen Eigenfertigung und Fremdbezug der Elemente eines fest vorgegebenen Teilespektrums ist aufgrund und im Rahmen einer Produktionsprogrammplanung zu treffen, welche die erfolgsmäßigen Auswirkungen der Alternativen erkennen läßt, ohne dabei Verbundeffekte der Produktion zu vernachlässigen. Im Lichte dieser Zwecksetzung bzw. Modellprämisse läßt sich die Funktionsweise des vorliegenden operativen Optimierungssystems etwa folgendermaßen umreißen:

Es wird eine möglichst hohe Auslastung verfügbarer Kapazitäten des zu betrachtenden Fertigungsbereiches durch solche Einzelteile gewährleistet, die eine intensive Nutzung interner Kostenvorsprünge versprechen. Mithin ermöglicht dieser Modellansatz eine simultane Realisierung zweier wesentlicher Zielsetzungen der operativen Produktionsprogramm- und Kapazitätsplanung: Es wird

- eine effektive Nutzung bereits existenter Produktionspotentiale für die nahe Zukunft gewährleistet (Kapazitätsauslastungsrechnung), sowie
- die Erzielung möglichst geringer Fremdbezugskosten durch konsequente Wahrnehmung interner Produktionsvorteile sichergestellt (integrierte Bezugsartenanalyse).

Somit muß die Zielfunktion dieses Modellsystems die (simultane) Maximierung der durch Hausfertigung erzielbaren Ersparnisse (ES), bewertet in Geldeinheiten, fordern. Wir bezeichnen mit

c_i^f ... den im Falle des marktmäßigen Bezugs zu entrichtenden Kaufpreis für die im kommenden Jahre benötigten Stückzahlen des i -ten Teils ($i=1, \dots, N$), bewertet in Geldeinheiten. Hierbei symbolisiere N den Gesamtumfang des zu betrachtenden, fertigungsbereichsspezifischen Teilespektrums.

c_i^e ... die im Falle der vollständigen Hausfertigung der während des einjährigen Planungshorizonts bereitzustellenden Stückzahlen des i -ten Teils ($i = 1, \dots, N$) anfallenden variablen Fertigungskosten, bewertet in Geldeinheiten.

Dann sei die Erklärungshypothese des operativen Modellsystems zur wirtschaftlichen Teilefertigung definiert zu

$$(1) \quad \text{Max}_{x_i} \quad \text{ES} = \sum_{i=1}^N (c_i^f - c_i^e) \cdot x_i \quad , \quad \text{wobei}$$

x_i ... eine binäre Variable mit dem folgenden Definitionsbereich sei:

$$x_i = \begin{cases} 1 & , \text{ wenn Teil } i \text{ vollständig in Hausfertigung befindlich ist ("wahrgenommene Einsparung durch Eigenfertigung").} \\ 0 & , \text{ wenn Teil } i \text{ bis zum Ende des Planungshorizonts ausschließlich vom Markt bezogen wird.} \end{cases}$$

Somit läßt sich auch formulieren:

$$(2) \quad 0 \leq x_i \leq 1 \quad \text{ und ganzzahlig } , \quad \forall i.$$

Im Zuge des Maximierungsprozesses darf jedoch die jährlich verfügbare Kapazität (b_k ; $k = 1, \dots, K$) der einzelnen Maschinengruppen k des zu untersuchenden Fertigungsbereichs [in Stunden p.a.] durch die jährlichen Kapazitätsbedarfe (a_{ik} ; $i = 1, \dots, N$; $k = 1, \dots, K$) der zur Eigenfertigung vorgesehenen Teile i [in Stunden p.a.] keinesfalls überschritten werden:

$$(3) \quad \sum_{i=1}^N a_{ik} \cdot x_i \leq b_k \quad , \quad \forall k.$$

Mögliche Kapazitätserweiterungen in den einzelnen Maschi-

nengruppen k ($\rightarrow$ Sensitivitätsbetrachtungen) lassen sich zwar in analytischer Hinsicht problemlos in die linearen Modellstrukturen der Relationen (1) bis (3) einbeziehen, würden jedoch anstelle des zur EDV-mathematischen Auswertung dieses Optimierungssystems verwandten Binäralgorithmus ein allgemeines Verfahren der ganzzahligen, linearen Optimierung erfordern. Angesichts der durchschnittlichen Dimensionen der hier in aller Regel analysierten Problemstellungen (400 Vorprodukte sowie 100 Maschinengruppen) erlauben solche Verfahren jedoch keine benutzerfreundlichen Dialoglösungen.

Zur Bestimmung eines (kurzfristig) optimalen, fertigungsbereichsspezifischen Investitionsprogramms wurde deshalb eine Heuristik entwickelt, welche auf der iterativen Anwendung des vermöge der Relationen (1) bis (3) dargestellten Optimierungsmodells beruht. Hierbei werden nach jedem Iterationsschritt interessante "Investitionskandidaten" (Maschinengruppen k) ermittelt und in der nachfolgenden Iteration unter Berücksichtigung zusätzlicher, entscheidungsabhängiger Abschreibungen getestet. Die Bestimmung dieser "Investitionskandidaten" beruht auf der Lokalisierung derjenigen Einzelteile, welche aufgrund von (aktiven) Kapazitätsrestriktionen nicht mit ihrem optimalen Ziel-funktionsbeitrag zugeordnet werden konnten. Kandidaten für Kapazitätserweiterungen sind dann letztlich solche Maschinengruppen, welche der Realisierung der diesbezüglich interessantesten, mithin höchsten Einsparungspotentiale im Wege standen. In diesem Zusammenhange kann von einem nach Optimalitätskriterien automatisch gesteuerten (systemgestützten) Zubau von Fertigungspotentialen zum Zwecke einer verstärkten Nutzung interner Fertigungsvorteile gesprochen werden.

Da die Entscheidung über (Erweiterungs-)Investitionen in den einzelnen Maschinenbereichen sowie Haus- oder Fremdfertigung einzelner Vorprodukte in aller Regel über den Zeithorizont der operativen Planung hinauswirken, letzterer jedoch wegen der damit verbundenen Daten(beschaffungs-)probleme nicht jenseits eines Kalenderjahres angesetzt werden konnte, erweist sich eine detaillierte Prüfung der wichtigsten Teilempfehlungen des oben präsentierten, operativen Planungsmodells als unumgänglich. Dabei werden im Rahmen konventioneller Bezugsartanalysen und Investitionsrechnungen entsprechende, längerfristige Untersuchungen einzelner Teile und maschinenbereichsspezifischer Investitionen angestellt, um den Besonderheiten der jeweiligen wichtigen Einzelfälle Rechnung zu tragen. -

Wir werfen abschließend einen Blick auf die Abb. 18, welche über den Prozeß der Bereitstellung der zum "Betrieb" des hier zur Debatte stehenden operativen Planungskonzepts unabdingbaren Inputdatenkonfigurationen informiert. Gegenwärtig werden die jährlichen Bedarfsmengen für Vorprodukte der zur Untersuchung anstehenden Teilespektren sowie die Gesamtanzahl einzelner Maschinen, die im betrachteten Fertigungsbereich nutzbar sind, maschinell aus der Bruttobedarfsrechnung übernommen. Äquivalentes gilt für die Maschinenbelegzeiten derjenigen Einzelteile, die zum jeweiligen Untersuchungszeitpunkt in Eigenfertigung befindlich sind ("Jetzt-Hausteile").

Darüber hinaus werden Informationen benötigt über

- Maschinenbelegzeiten für solche Vorprodukte, welche zum jeweiligen Beginn eines Betrachtungszeitraumes über den Markt bezogen werden ("Jetzt-Kaufteile"), sowie
- Faktoren für Schichtarbeit, Nutzlaufzeiten und Bediener-

leistungsgrade zum Zwecke der Ermittlung verfügbarer (jährlicher) Istkapazitäten.

Diese Informationen müssen von der technischen Zentralplanung bereitgestellt und vom Systembenutzer auf manuellem Wege an das Optimierungssystem übergeben werden. Die variablen Kosten der Eigenfertigung für Jetzt-Hausteile sind der Kalkulation entnehmbar. Dabei ist die maschinelle Überleitung entsprechender Kostenwerte aus der Hausteile-Datenbank (prozeßkonforme Kalkulation) als System-schnittstelle realisiert. Die technische Zentralplanung trägt (in enger Kooperation mit den Experten der Kalkulation) Sorge für die Bereitstellung von variablen Kosten der Eigenfertigung für Jetzt-Kaufteile (manuelle Eingabe).

Des weiteren werden die Bezugspreise sowohl für Jetzt-Kaufteile als auch für Jetzt-Hausteile (Einkaufsrichtwerte) vom Einkauf erbracht (Systemschnittstelle zur Auswärtsteile-Datenbank). Dabei kann die Eingabe der von entsprechenden Experten prognostizierten Bezugspreisrichtwerte fallweise auch auf manuellem Wege erfolgen.

Wird überdies die Betrachtung erweiterter Fertigungskapazitäten in Erwägung gezogen, müssen lineare Abschreibungswerte auf Maschinen der betreffenden Untersuchungseinheit vorliegen. Diese Werte können der Anlagenbuchhaltung entnommen werden (Systemschnittstelle zur Anlagen-Datenbank).

Der praktische Einsatz des hier skizzierten operativen Modellsystems zur wirtschaftlichen Teilefertigung hat offenbart, daß der hierzu von den planenden Stellen sowie des Einkaufs zu leistende Beitrag, welcher sich in der tatkräftigen Unterstützung von Datenbeschaffungsaktivitäten dokumentiert, vom überragenden Nutzen

- optimaler Kapazitätsauslastungen sowie
 - ganzheitlich orientierter, kostenminimierender Bezugsartentscheidungen
- in erheblichem Maße überkompensiert wird.

4.3.2. Die Verknüpfung des operativen Planungssystems mit dem strategischen Entscheidungsmodell zu einem umfassenden hierarchischen Planungsansatz der Akquisitions- und Investitionspolitik

Im Rahmen der Erörterungen des Kapitels 1.4. haben wir gefordert, daß strategische und operative Unternehmensplanung nicht isoliert voneinander, sondern integrativ zu betreiben sind. Wir haben diese Forderung aus den Charakteristika operativer Planungstätigkeiten abgeleitet, welche sich ex definitione mit der kurzfristigen Konkretisierung strategischer Maßnahmen zu befassen haben. Des weiteren wurde betont, daß die Integration strategischer und operativer Entscheidungskalküle in einem hierarchisch aufgebauten Planungsansatz geschehen müsse. Nur so kann der Notwendigkeit Rechnung getragen werden, daß die Zielwerte strategischer Entscheidungs- und Ergebnismerkmale den unerläßlichen Dateninput für entsprechende operative Planungsstrukturen bilden.

Im Zuge der bisherigen Ausführungen sind die Input-, Verarbeitungs- und Outputkonfigurationen sowohl des strategischen Modellsystems der Fertigungs- und Investitionsprogrammplanung, als auch des operativen Optimierungskonzepts zur wirtschaftlichen Teilefertigung in mehr oder minder detaillierter Form zur Darstellung gelangt. Es ist nun unser zentrales Anliegen, zwischen den beiden genannten Pla-

nungskonzepten einen gedanklichen Brückenschlag zu vollziehen und somit die in Kapitel 1.4. begonnene Argumentationskette organisch zu schließen.

Unser strategisches Entscheidungskalkül ist prädestiniert für die Ermittlung robuster Sollinvestitionsbudgets für die einzelnen Hauptkostenstellen, die wir als prozeßtechnologisch homogene Fertigungsbereiche begreifen. Diese Investitionsbudgets bilden stringente Restriktionen hinsichtlich des Gesamtvolumens an Erweiterungsinvestitionen, welche in den jeweiligen, auf operativer Ebene betrachteten Fertigungsbereichen zur intensivierten Nutzung interner, bereichsspezifischer Kostenvorsprünge als (partiell) optimal empfunden werden im Hinblick auf die Steigerung der Wirtschaftlichkeit der jeweiligen Teilefertigung.

Des weiteren ist unser strategisches Modellsystem der Akquisitions- und Investitionsplanung in der Lage, robuste Schwerpunktverschiebungen im Zukauf von Produkttechnologiekomponenten j ($j = 1, \dots, J$) quantitativ zu erfassen. Solche Schwerpunktverschiebungen dokumentieren sich im Zeitpfad der jeweiligen AH_{jt} über alle Teilperioden t des Planungshorizonts T . In diesem Zusammenhange sprechen wir dann und nur dann von echten Schwerpunktverlagerungen im generellen Gefüge der Autarkiegrade, wenn es Konstruktionsgruppen j gibt, für die gilt:

$$AH_{jo} << AH_{jT} \vee AH_{jo} >> AH_{jT} \quad , j \text{ beliebig.}$$

Wenn man berücksichtigt, daß die Zeitpfade der Autarkiegrade einen monotonen Verlauf aufweisen müssen ($\forall j$) (vgl. hierzu insbesondere Kapitel 2.3.3.2.), so können hierdurch solche produkttechnologisch homogenen Fahrzeugkomponenten

beschrieben bzw. identifiziert werden, für deren hausinterne Erstellung künftighin in stark erhöhtem respektive stark vermindertem Maße Sorge zu tragen ist. Hierfür können kostenwirtschaftliche, technologische wie auch allgemeine unternehmenspolitische Gründe verantwortlich sein, wie die strukturellen Determinanten unseres strategischen Modellsystems ganz deutlich unter Beweis stellen. Es empfiehlt sich nun eine detaillierte Untersuchung solcher Fertigungsbereiche k ($k = 1, \dots, K$) auf operativer Ebene, welche von den beschriebenen, j -spezifischen Schwerpunktverlagerungen besonders stark betroffen sind. Auf diese Art und Weise läßt sich feststellen, welche teilespezifische Autarkiestruktur unter strikter Beachtung der modifizierten strategischen Interessenlage in den fraglichen Fertigungsbereichen eine kurzfristig optimale Kostenwirtschaftlichkeit der Einzelteileherstellung sicherstellen würde. Für solche produkttechnologischen Komponenten, die künftighin weitgehend über den Markt bezogen werden sollen, ist vor allen Dingen die Frage zu klären, welche konkreten Vorprodukte dieser Gattung trotzdem, etwa aufgrund exorbitant hoher, partieller interner Kostenvorsprünge, unter keinen Umständen fremdvergeben werden sollten, zumindest auf kurze Sicht betrachtet. Hierfür könnte auch die mangelnde Abbaufähigkeit oder fehlende anderweitige Verwendbarkeit von Betriebsmitteln ausschlaggebend sein, welche erst vor kurzem eigens zum Zwecke der Erstellung ebendieser Vorprodukte angeschafft worden sind. In diesem Zusammenhange sei nochmals hervorgehoben, daß das operative Optimierungssystem zur wirtschaftlichen Teilefertigung eine möglichst maximale Auslastung vorhandener Produktionskapazitäten sicherzustellen bestrebt ist.

Umgekehrt eröffnet die operativ-konkrete Analyse solcher Produkttechnologien, welche auf lange Sicht nahezu vollständig in eigener Regie gefertigt werden sollen, die Mög-

lichkeit festzustellen, welche Vorprodukte eine kurzfristige Priorität der Aufnahme in das interne Fertigungsprogramm der betroffenen Produktionsbereiche besitzen, sei es aus kapazitären oder kostenwirtschaftlichen Gründen. Wir glauben nun in hinreichender Weise verdeutlicht zu haben, was uns im Rahmen des Kapitels 1.4. zu der Formulierung veranlaßt hat, daß die Outputstrukturen unseres strategischen Entscheidungskalküls als zentrale Elemente des operativen Modellsystems der simultanen Produktionsprogramm- und Kapazitätsplanung zu betrachten sind.

Zum Zwecke der Gewährleistung einer permanenten und praxisorientierten Interaktion dieser beiden planerischen Wirkungskreise haben wir einen gemeinsamen EDV-Verbund vorgesehen und implementiert. Dies involviert sowohl einen Datenverbund, als auch eine Verknüpfung auf der Software-Seite. Somit ist eine parallele Aufbereitung der jeweiligen Inputdatenspektren aus einem gemeinsamen Datenfundus sichergestellt, was in Anbetracht der Vielzahl entsprechender Berührungspunkte eine rationellere Organisation und Definition diesbezüglicher Systemschnittstellen ermöglicht (vgl. hierzu Kapitel 4.1.1., 4.1.2. sowie 4.3.1.). Überdies werden die Entscheidungsträger der betrieblichen Investitionsplanung kraft Zugriffsmöglichkeit auf das Programmpaket des operativen Modellsystems zur wirtschaftlichen Teilefertigung in die Lage versetzt, die Konsequenzen der von ihnen initiierten strategischen Maßnahmen zu lokalisieren und zu quantifizieren, wie sie sich auf der operativen Ebene einzelner Fertigungsbereiche kurzfristig konkretisieren. Mithin sind die Entscheidungsstrukturen der Akquisitions- und Investitionspolitik künftighin in ein hierarchisches Planungssystem eingebettet, welches langfristig sinnvolle, (auch kurzfristig) aufeinander abgestimmte Entscheidungen der bezeichneten Gattung sicherstellt.

Die Implementierung unseres hierarchischen Planungs- und Informationssystems darf jedoch erst dann als erfolgreich abgeschlossen gelten, wenn letzteres im Zuge der Bewältigung realiter auftretender Probleme der betrieblichen Praxis über längere Zeit hinweg seine (überlegene) Leistungsfähigkeit eindrucksvoll unter Beweis gestellt hat. De facto darf dieses umfassende Modellsystem zur quantitativen Unternehmensplanung nunmehr schon auf eine recht ansehnliche Reihe von "Einsatzbefehlen" zur Lösung dringlicher praktischer Entscheidungsprobleme des strategischen Bereichs unseres Unternehmens zurückblicken. Wir wollen nun zum würdigen Abschluß der vorliegenden Studie in aller Bescheidenheit darauf hinweisen, daß die hierbei gewonnenen Resultate und Empfehlungen jeweils zur vollsten Zufriedenheit der betroffenen Entscheidungsträger ausgefallen sind. Mithin betrachten wir die Implementierung unseres hierarchischen Planungssystems zur integrativen Fertigungs- und Produktionsprogrammplanung als erfolgreich terminiert. -

SCHLUSSWORT:

Ausblick auf zukünftige Aktivitäten

Wir wollen an dieser Stelle auf eine zusammenfassende, kritische Würdigung der von uns hier präsentierten, quantitativen Planungsansätze verzichten. In Anbetracht der Tatsache, daß man nach getaner Arbeit wohl immer ein wenig zu Überheblichkeit, um nicht zu sagen Eigenlob tendiert, wollen wir dies dem geschätzten Leser dieser Analyse überlassen.

Nutzen wir diese letzte Seite unserer Studie also für einen kurzen Ausblick auf unsere zukünftigen Aktivitäten im Hinblick auf die Modellierung strategischer und operativer Entscheidungsfelder der betrieblichen Praxis. Wohl um die Tatsache wissend, daß der für die mathematische Auswertung unseres strategischen Modellsystems eine so exponierte Stellung einnehmende Augmented-Lagrangian nach Pierre-Lowe zur Lösung entsprechend strukturierter nichtlinearer Programme nahezu universell einsetzbar ist, wollen wir nunmehr ganz gezielt nach realiter existierenden, betriebswirtschaftlichen Problemen fahnden, die vermöge dieser Methodik rasch und ohne sehr viel weiteres Zutun einer satisfizierenden Lösung zugänglich gemacht werden können.

Wir haben im Zuge der Ausführungen des Kapitels 1.2.3. auf die Problematik der Finanzierbarkeit der im Wege einer Auswertung unseres strategischen Planungskonzepts gewonnenen, geplanten Sollinvestitionsvolumina hingewiesen. In diesem Zusammenhange wurde darauf aufmerksam gemacht, daß die Finanzierungsfrage sowohl Flexibilität, als auch Höhe von eventuell zu spezifizierenden Toleranzschwellen fertigungsbereichsspezifischer Investitionsbudgets in entscheidendem Maße determiniert. Wir werden einem Projektteam,

welches in nicht allzu ferner Zukunft mit der praxisorientierten Lösung diesbezüglicher Problemstellungen zu betrauen ist, mit Rat und Tat zur Seite stehen und unseren reichlichen, im Zuge der Entwicklung unseres hierarchisch strukturierten Planungssystems zur integrierten strategischen und operativen Fertigungs- und Investitionsplanung "angehäuften" Erfahrungsschatz in uneingeschränktem Maße zur Verfügung stellen.

A N H A N G

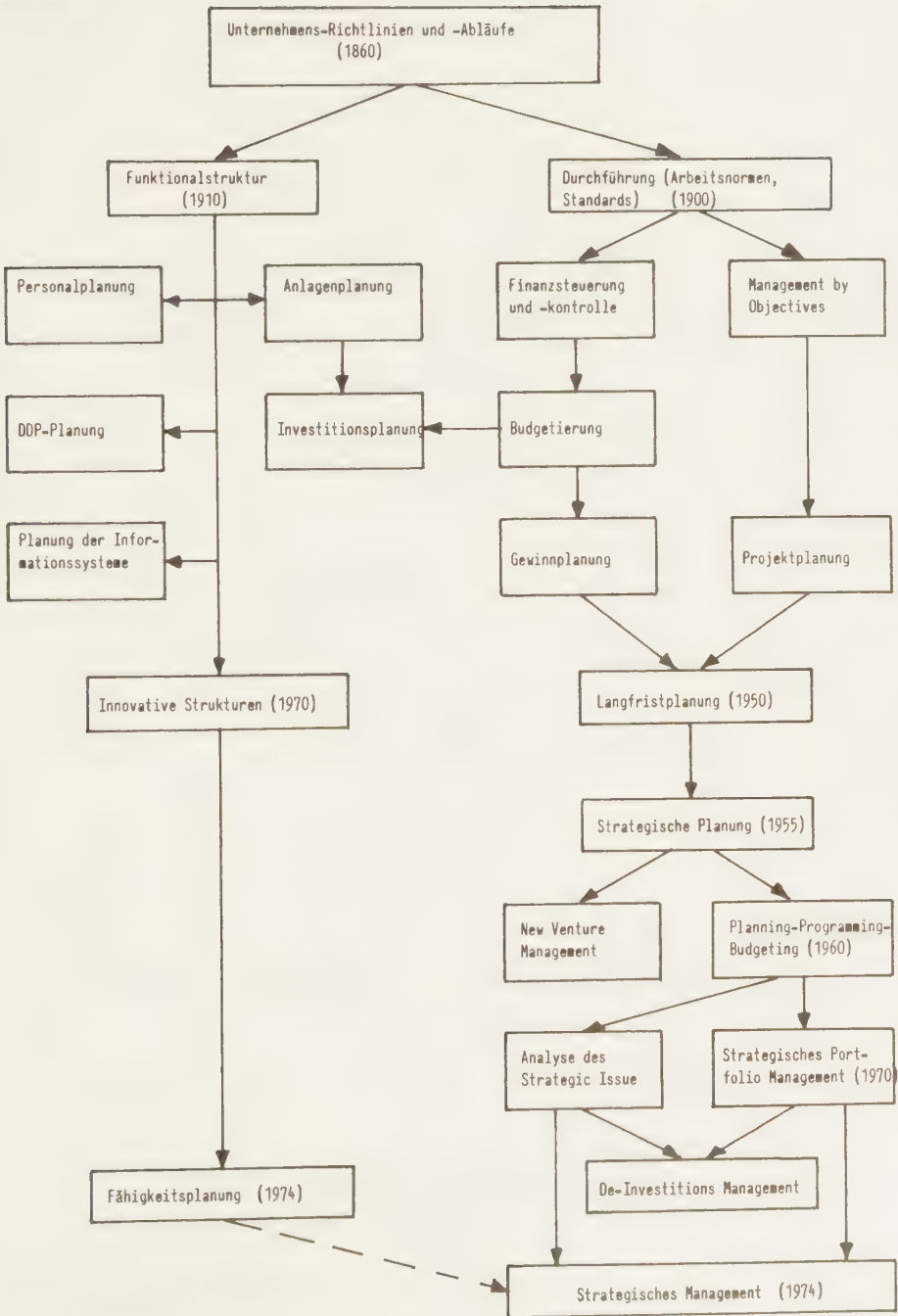
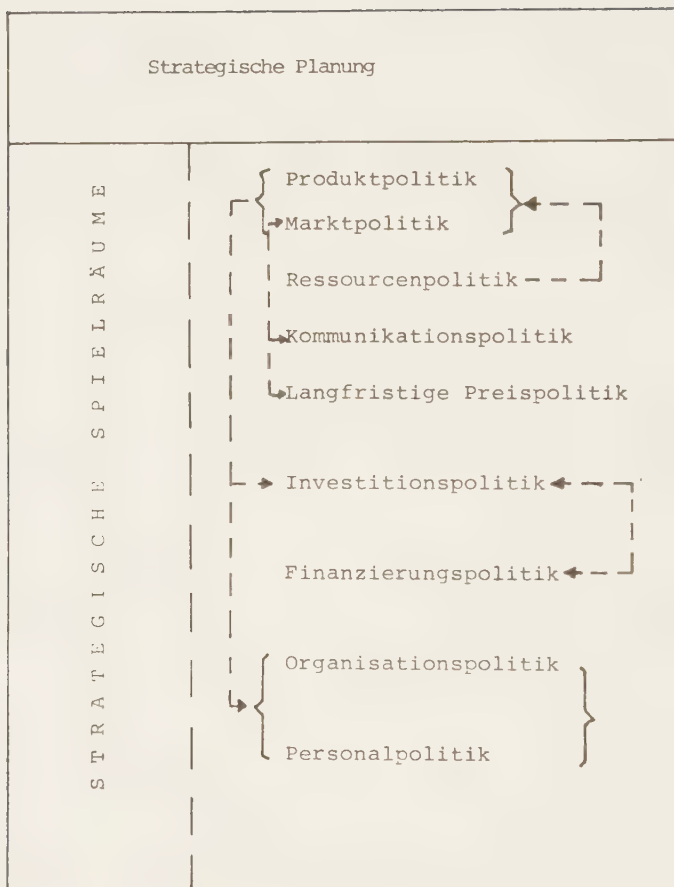


Abb. 1 : Die historischen Entwicklungsstufen der strategischen Unternehmensplanung (vgl. Ansoff 1976)



STRATEGISCHE SPIELRÄUME

Produktpolitik

→ Marktpolitik

Ressourcenpolitik -

Kommunikationspolitik

Langfristige Preispolitik

➔ Investitionspolitik

Finanzierungspolitik

Organisationspolitik

Personalpolitik

—••• Wirkungsrichtung

Abb. 2 : Die logische Abfolge der interdependenten strateg. Spielräume eines Unternehmens (vgl. Hanssmann 1982)

Offizielle Ziele der Unternehmung
(abstrakt formuliert)



"Relevante" Unterziele
(konkreter formuliert)



Auf der Ebene von Entscheidungs-
alternativen quantifizierbare
Unterziele

Abb. 3: Die quantifizierende Zieldekomposition zur Erzeugung
operationaler Unternehmensziele (vgl. Hansmann 1978)

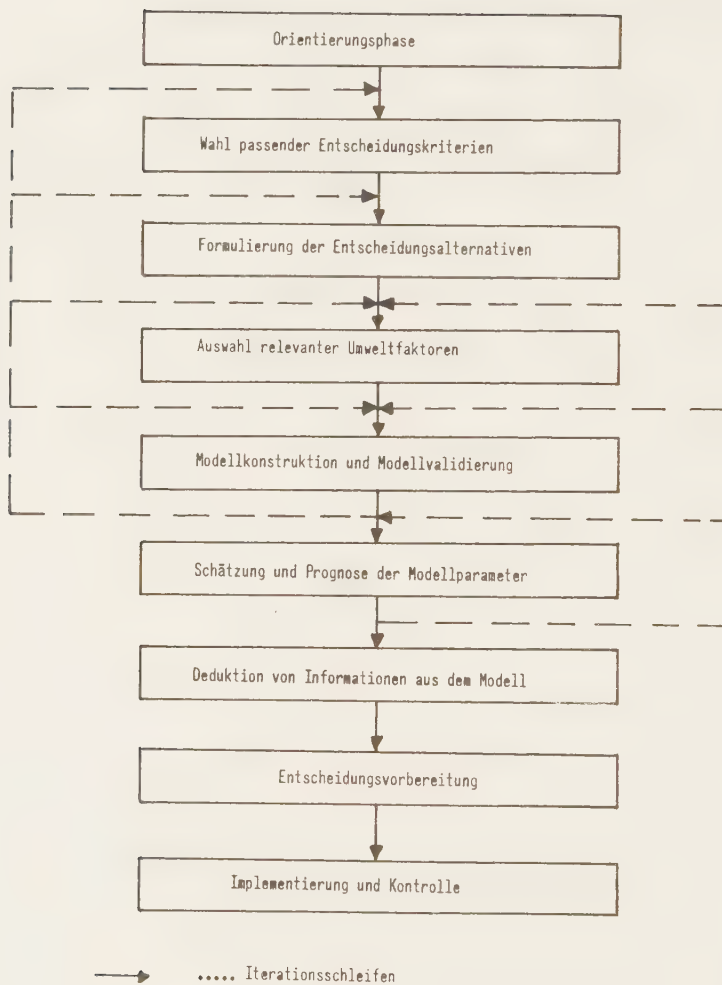


Abb. 4 : Die charakteristischen Phasen einer Systemstudie (in Anlehnung an Hanssmann 1978)

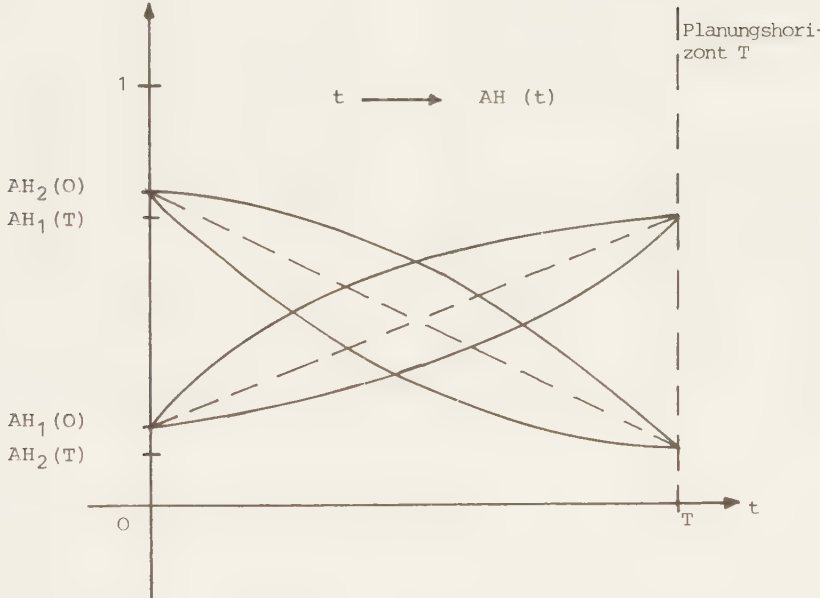
Eigenfertigungsanteil $[AH(t)]$ 

Abb. 5: Zulässige Zeitpfade produkttechnologiespezifischer Haus- (Fremd-) fertigungsanteile innerhalb des gewählten Planungshorizonts

- ```
- Alternative 1 : - monoton steigend -- progressiv
 -- linear
 -- degressiv
- Alternative 2 : - monoton fallend -- degressiv
 -- linear
 -- progressiv
```

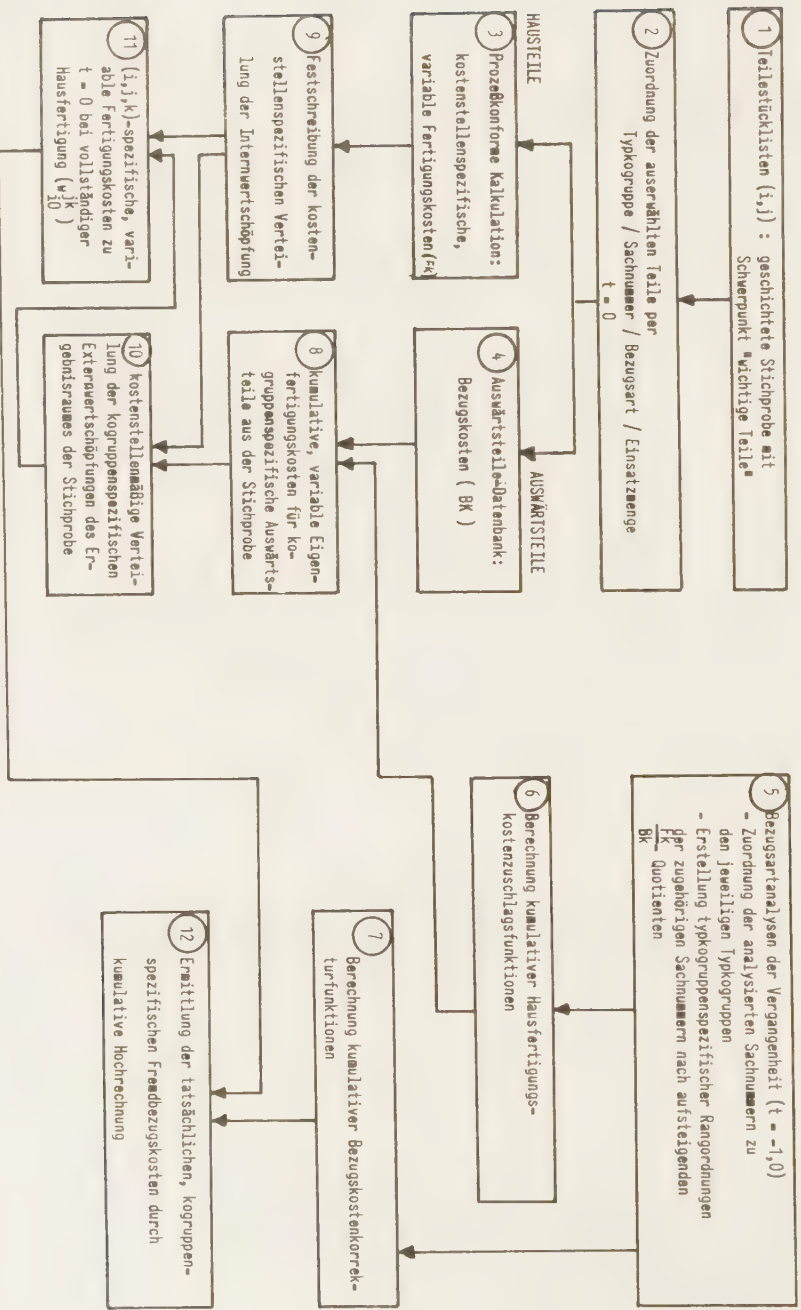


Abb. 6 : Der Prozeß einer praxisorientierten Erzeugung entscheidungsabhängiger Werterschöpfungskosten

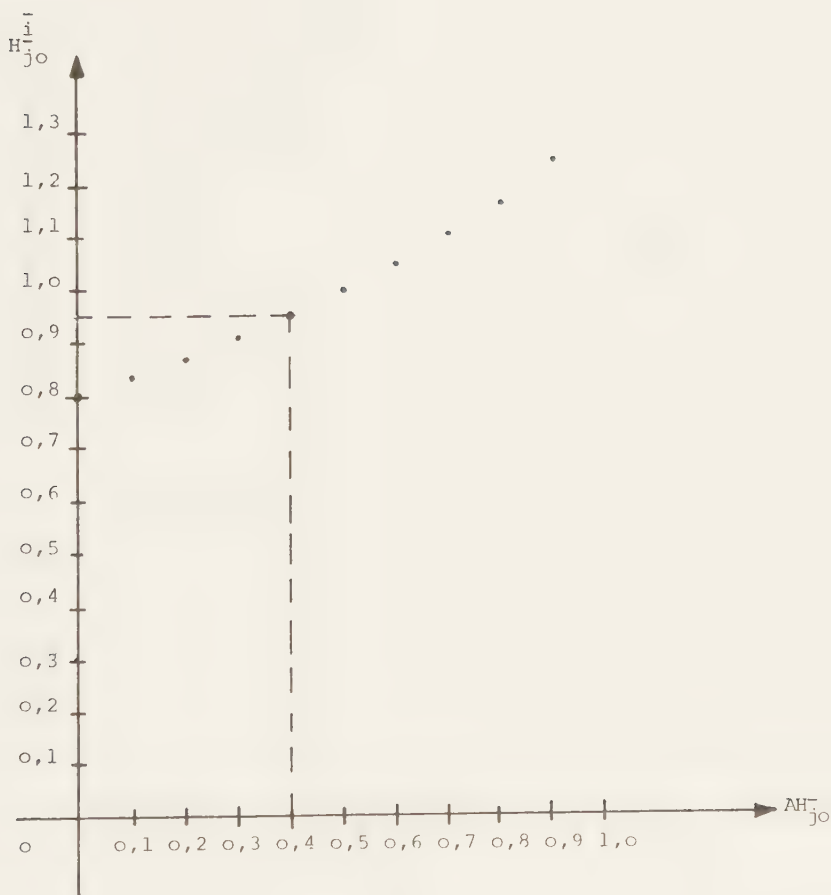


Abb.7: Charakteristischer Verlauf einer Folge von kumulativen Hausfertigungskostenzuschlägen in Abhängigkeit vom jeweils gewählten Autarkiegrad

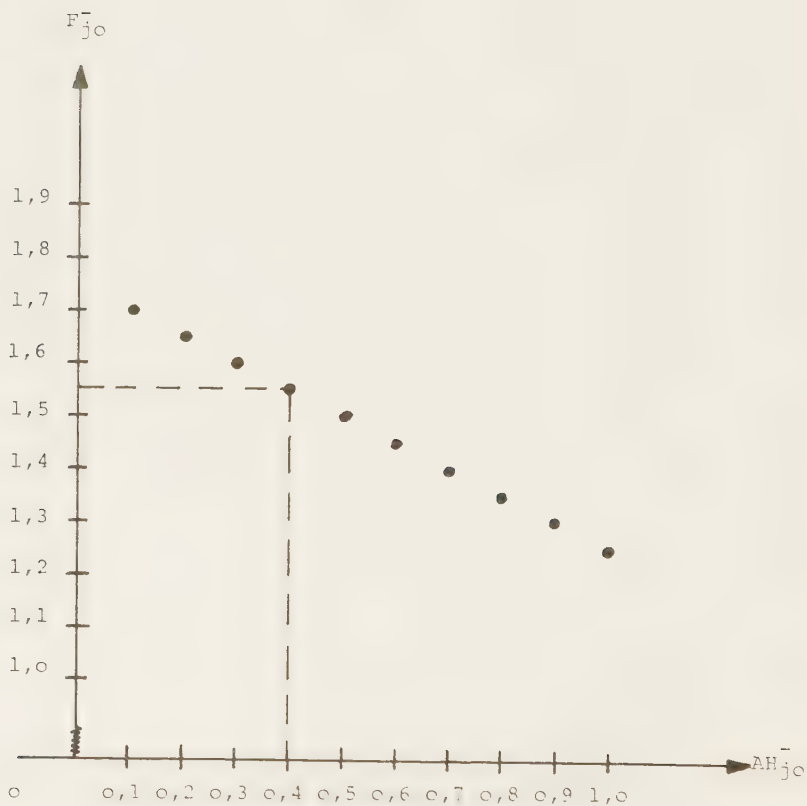


Abb.8: Charakteristischer Verlauf einer Folge von kumulativen Bezugskostenkorrekturfaktoren in Abhängigkeit vom jeweils gewählten Autarkiegrad

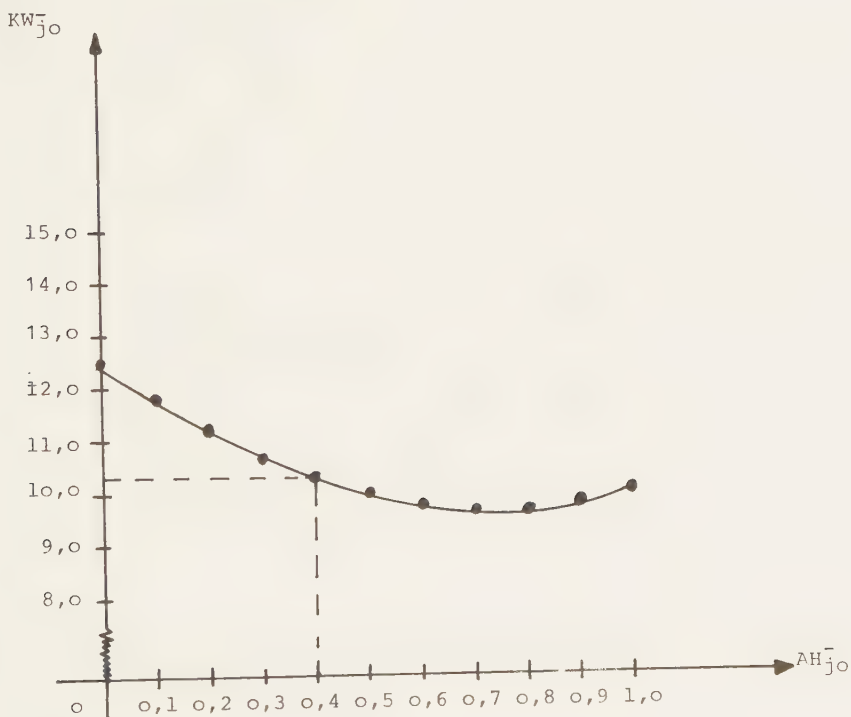


Abb.9: Charakteristischer U-förmiger Verlauf der entscheidungsabhängigen Gesamtkosten der Wertschöpfung in Abhängigkeit vom jeweils gewählten Autarkiegrad (quadratische Näherung)

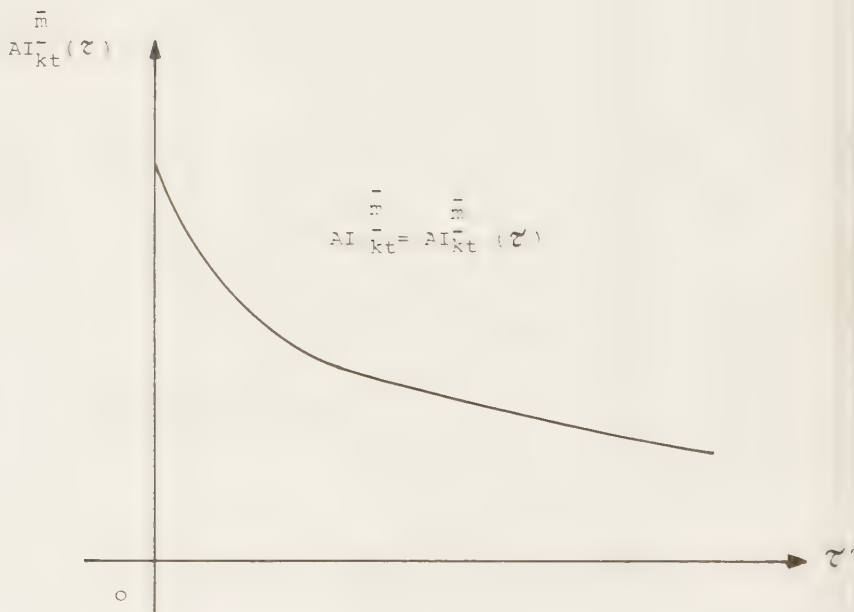


Abb. 10: Der charakteristische Zeitpfad  $(k, m)$ -spezifischer Anlagenintensitäten (hier: degressiv abnehmende Einsatzintensität des Betriebsmittels  $(\bar{x}, \bar{m})$ )

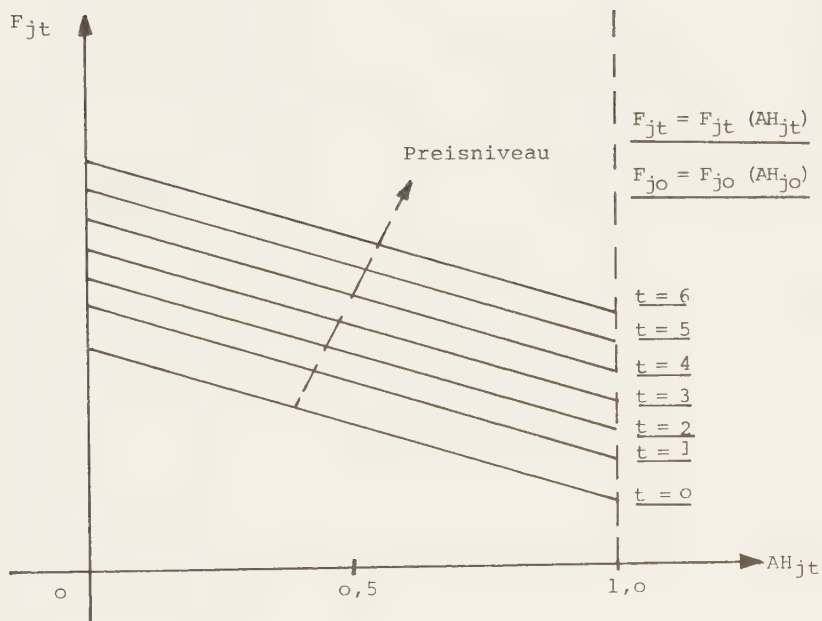


Abb. 11: Charakteristische Schar echt zeitflexibler Bezugs-  
kostenkorrekturfunktionen  
 (Lineare Verstetigung der zugrundeliegenden Folgen-  
gerüste)



Planungshorizont  $T$

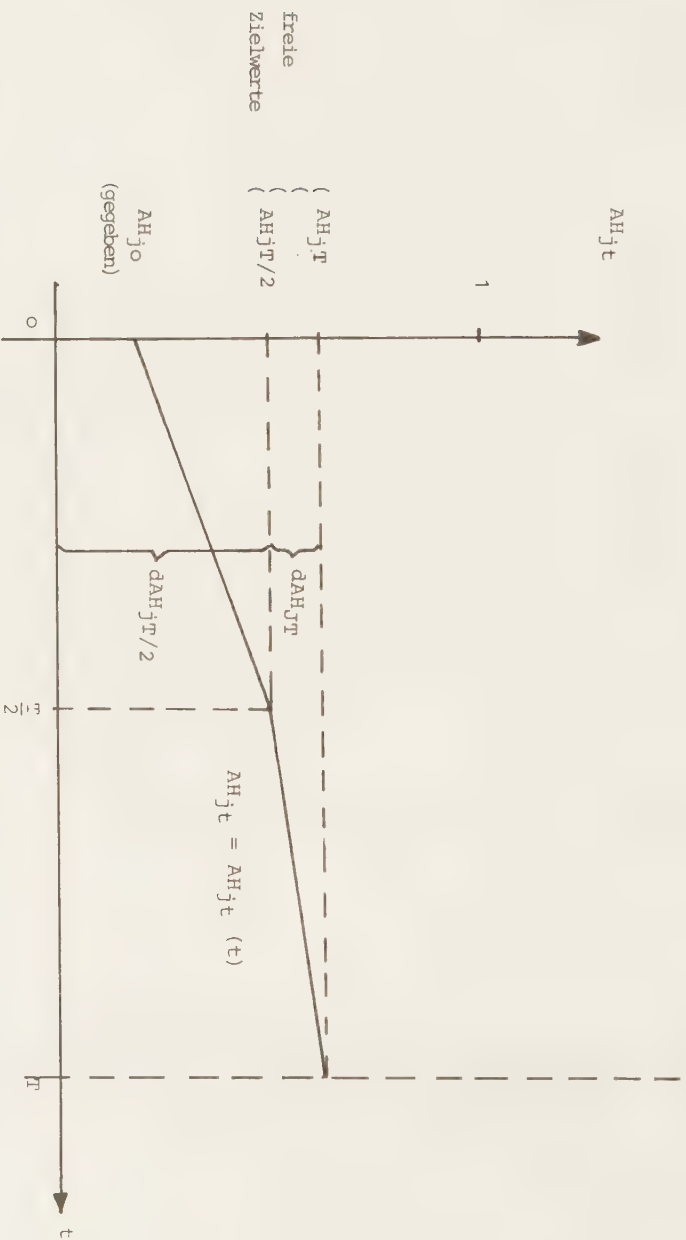


Abb. 12: Charakteristische lineare Rekonstruktion des zulässigen (depressiv zunehmenden) Zeitpfades eines produkttechnologiespezifischen Autarkiegrades auf Basis zweier planerischer Freiheitsgrade

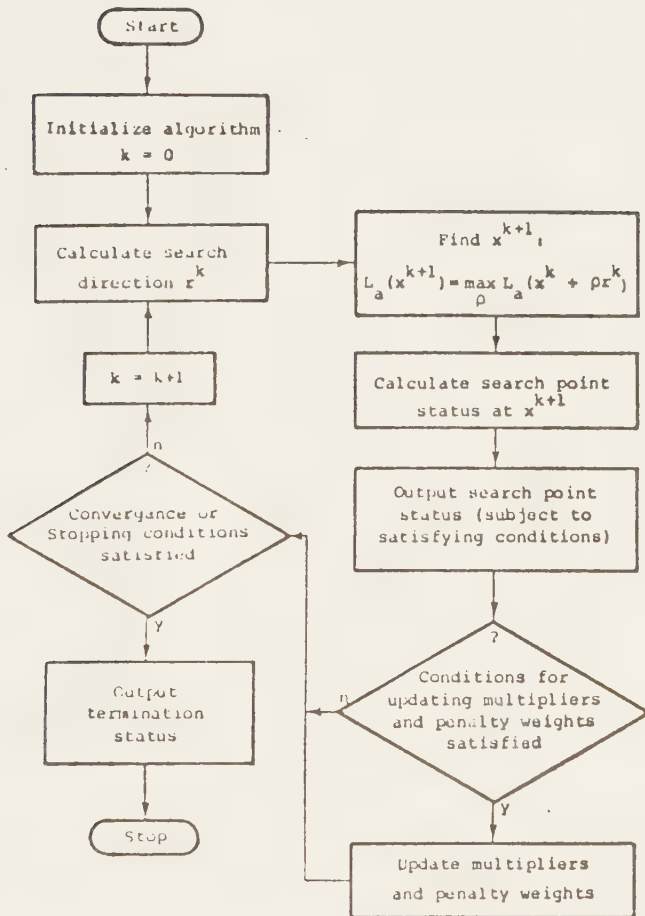


Abb. 13: Programmablaufplan zum globalen Procedere des Augmented-Lagrangian-Algorithmus nach Pierre-Lowe (vgl. Pierre-Lowe 1975)

| Test-<br>beispiel<br>Nummer | Problemumfang<br>Variable | Restriktionen<br>(M) | Trennbarkeit<br>der Ziel-<br>funktion | Hard-<br>ware-<br>Konfiguration | Rechenzeit<br>ET<br>CPU-Min | Zulässigkeit<br>der<br>Lösung | II<br>maximaler<br>Poly-<br>nomgrad | Anzahl durch-<br>geführter<br>Funktions-<br>evalua-<br>tionen | Gradienten-<br>tenden-<br>zen<br>Aus-<br>wertung | II<br>N | ET<br>II<br>CPU-Min  | Aff<br>II | ET<br>Aff<br>CPU-Min | Bemerkungen                                                                                                                                     |
|-----------------------------|---------------------------|----------------------|---------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------|----------------------|-----------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                           | 2                         | 2                    | ja                                    | ...                             | 0,01                        | ja                            | $\frac{16}{3}$                      | 76                                                            | 12                                               | 7       | $7,16 \cdot 10^{-4}$ | 1,86      | $3,85 \cdot 10^{-4}$ | von Pierre-<br>veröffentlichte<br>Beispielsätze<br>zur Demonstration von<br>Effizienz und<br>Reliabilität<br>linearer<br>Optimierungs-<br>codes |
| 2                           | 4                         | 3                    | ja                                    | ...                             | 0,023                       | ja                            | $\frac{73}{2}$                      | 39                                                            | 20                                               | $5,175$ | $1 \cdot 10^{-3}$    | 1,7       | $5,9 \cdot 10^{-4}$  |                                                                                                                                                 |
| 3                           | 3                         | 4                    | nein                                  | ...                             | 0,022                       | ja                            | $\frac{10}{2}$                      | 18                                                            | 9                                                | $3,55$  | $2,2 \cdot 10^{-3}$  | 1,8       | $1,77 \cdot 10^{-3}$ |                                                                                                                                                 |
| 4                           | 7                         | 4                    | nein                                  | ...                             | 0,114                       | ja                            | $\frac{72}{6}$                      | 58                                                            | 20                                               | $3,14$  | $5,38 \cdot 10^{-3}$ | 2,64      | $1,97 \cdot 10^{-3}$ |                                                                                                                                                 |
| 5                           | 10                        | 8                    | nein                                  | ...                             | 0,272                       | ja                            | $\frac{31}{7}$                      | 106                                                           | 34                                               | $3,7$   | $7,55 \cdot 10^{-3}$ | 2,87      | $2,57 \cdot 10^{-3}$ |                                                                                                                                                 |
| 6                           | 20                        | 17                   | nein                                  | ...                             | 0,673                       | ja                            | $\frac{19}{4}$                      | 238                                                           | 67                                               | $3,95$  | $7,16 \cdot 10^{-3}$ | 3,01      | $2,54 \cdot 10^{-3}$ |                                                                                                                                                 |
| 7                           | 100                       | 50                   | ja                                    | ...                             | 4,10                        | ja                            | $\frac{510}{7}$                     | 1143                                                          | 439                                              | $5,10$  | $8,04 \cdot 10^{-3}$ | 2,24      | $2,57 \cdot 10^{-3}$ | Faktive Input-<br>datenspektren<br>(auf Zufalls-<br>zahlenziehung<br>basiert)                                                                   |
| 8                           | 250                       | 250                  | ja                                    | ...                             | 16,721                      | ja                            | $\frac{3506}{7}$                    | 3938                                                          | 1107                                             | $6,02$  | $1,11 \cdot 10^{-2}$ | 2,62      | $4,75 \cdot 10^{-3}$ |                                                                                                                                                 |

Abb. 14 : Tabellarische Übersicht zu Testbeispielen in API bezüglich acht ausgewählter Inputdatenkonfigurationen

| Test-<br>beispiel<br>Nummer | Problemaufang   |                           | Trenn-<br>barkeit<br>der<br>Ziel-<br>funktion | Hard-<br>ware-<br>Konfi-<br>guration | Rechen -<br>zeit<br>ET<br>CPU-Min | Zulässig-<br>keit<br>der<br>Lösung | II                           |                                         | Anzahl durch-<br>geführter | Gradienten-<br>koeffizien-<br>ten<br>AÖE | II                   |           | AÖE<br>CPU-Min       | Berechnungen                                                                                                                           |
|-----------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------|----------------------|-----------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                             | Variable<br>(N) | Restri-<br>ktionen<br>(M) |                                               |                                      |                                   |                                    | maximal-<br>Poly-<br>nomgrad | Funktions-<br>evaluie-<br>rungen<br>AÖE |                            |                                          | ET<br>CPU-Min        | AÖE<br>II |                      |                                                                                                                                        |
| 1                           | 2               | 2                         | ja                                            | —                                    | 0,015                             | ja                                 | $\frac{12}{3}$               | 29                                      | 14                         | 8,5                                      | $8,82 \cdot 10^{-4}$ | 1,71      | $5,17 \cdot 10^{-4}$ | 1. Herkunft<br>der Inputdaten-<br>spektren<br>siehe Abb. 14<br>2. Sample-<br>precision-<br>execution                                   |
| 2                           | 4               | 3                         | ja                                            | —                                    | 0,035                             | ja                                 | $\frac{25}{2}$               | 43                                      | 23                         | 6,25                                     | $1,4 \cdot 10^{-3}$  | 1,72      | $8,14 \cdot 10^{-4}$ |                                                                                                                                        |
| 3                           | 3               | 4                         | nein                                          | —                                    | 0,036                             | ja                                 | $\frac{10}{2}$               | 17                                      | 9                          | 3,33                                     | $3,6 \cdot 10^{-3}$  | 1,70      | $2,12 \cdot 10^{-3}$ | 1. Herkunft<br>der Inputdaten-<br>spektren<br>siehe Abb. 14<br>2. Sample-<br>precision-<br>execution                                   |
| 4                           | 7               | 4                         | nein                                          | —                                    | 0,149                             | ja                                 | $\frac{23}{6}$               | 60                                      | 21                         | 3,29                                     | $6,48 \cdot 10^{-3}$ | 2,61      | $2,48 \cdot 10^{-3}$ |                                                                                                                                        |
| 5                           | 10              | 8                         | nein                                          | —                                    | 0,417                             | ja                                 | $\frac{39}{2}$               | 111                                     | 38                         | 3,90                                     | $1,07 \cdot 10^{-2}$ | 2,85      | $3,76 \cdot 10^{-3}$ | 1. Herkunft<br>der Inputdaten-<br>spektren<br>siehe Abb. 14<br>2. Sample-<br>precision-<br>execution                                   |
| 6                           | 20              | 17                        | nein                                          | —                                    | 0,994                             | ja                                 | $\frac{85}{2}$               | 249                                     | 69                         | 4,25                                     | $1,17 \cdot 10^{-2}$ | 2,93      | $3,99 \cdot 10^{-3}$ |                                                                                                                                        |
| 7                           | 100             | 50                        | ja                                            | —                                    | 6,97                              | ja                                 | $\frac{542}{2}$              | 1196                                    | 478                        | 5,42                                     | $1,29 \cdot 10^{-2}$ | 2,21      | $5,83 \cdot 10^{-3}$ | 1. Herkunft<br>der Inputdaten-<br>spektren<br>siehe Abb. 14<br>2. Sample-<br>precision-<br>execution                                   |
| 8                           | 250             | 250                       | ja                                            | —                                    | 24,52                             | ja                                 | $\frac{1577}{2}$             | 3988                                    | 1247                       | 6,31                                     | $1,56 \cdot 10^{-2}$ | 2,53      | $6,15 \cdot 10^{-3}$ |                                                                                                                                        |
| 9                           | 460             | 506                       | nein                                          | —                                    | 58,87                             | ja                                 | $\frac{3447}{2}$             | 9154                                    | 2796                       | 7,49                                     | $1,71 \cdot 10^{-2}$ | 2,66      | $6,43 \cdot 10^{-3}$ | 1. Effektive Input-<br>daten auf Zufalls-<br>zahlenziehung<br>benußend (Fortran<br>intr.=function)<br>2. Sample-precision<br>execution |
| 10                          | 540             | 666                       | ja                                            | —                                    | 82,975                            | ja                                 | $\frac{4729}{2}$             | 12254                                   | 3429                       | 8,76                                     | $1,76 \cdot 10^{-2}$ | 2,59      | $6,77 \cdot 10^{-3}$ |                                                                                                                                        |
| 11                          | 540             | 666                       | ja                                            | —                                    | 104,402                           | ja                                 | $\frac{5844}{3}$             | 14809                                   | 4381                       | 10,82                                    | $1,79 \cdot 10^{-2}$ | 2,53      | $7,05 \cdot 10^{-3}$ | 1. Herkunft<br>der Inputdaten-<br>spektren<br>siehe Abb. 14<br>2. Sample-<br>precision-<br>execution                                   |
|                             |                 |                           |                                               |                                      |                                   |                                    |                              |                                         |                            |                                          |                      |           |                      |                                                                                                                                        |

Abb. 15 : Tabellarische Übersicht zu Testergebnissen in Fortran - V bezüglich der ausgewählter Inputdatenkonstellationen





Abb. 17: Die Darstellung des ursächlichen Zusammenhangs zwischen tatsächlichen (empirisch beobachteten) und prognostizierten (betriebsgewöhnlichen), k- spezifischen Anlagen- ausfallzeiten (Jahre) vermöge der zugehörigen  $(X, Y_k)$ - Punktwolke.

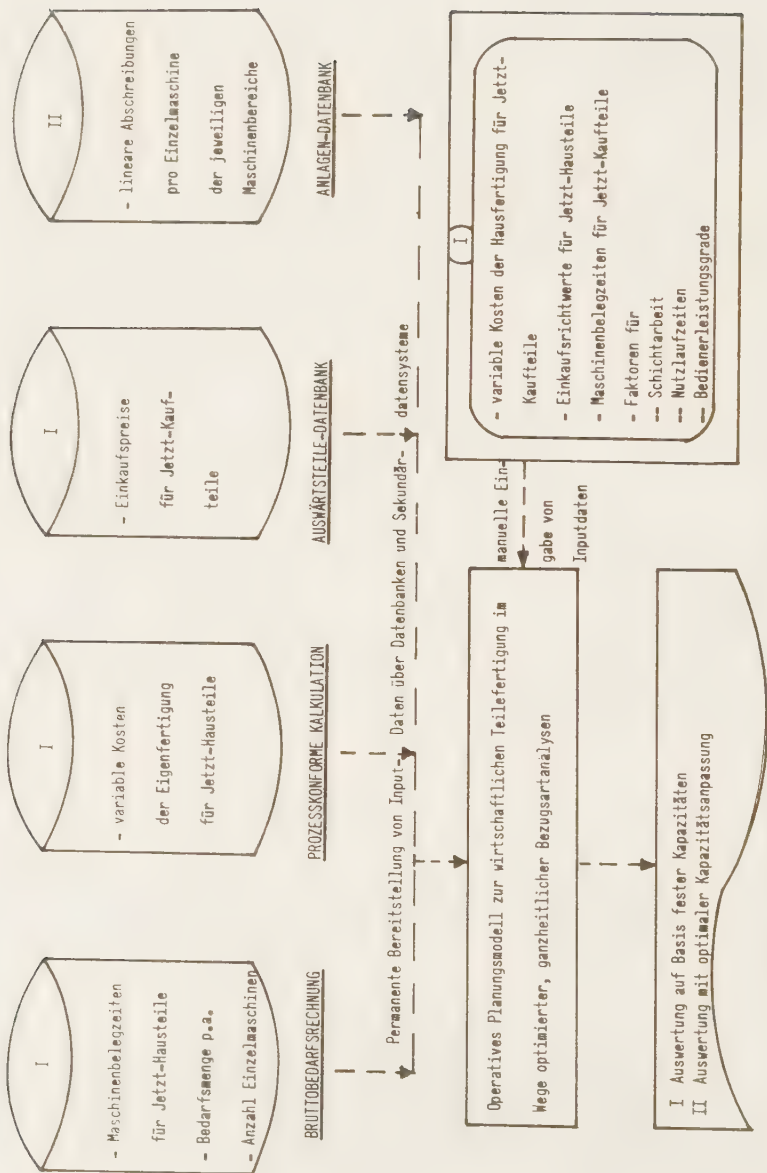


Abb. 18 : Der ( permanente ) Prozeß der Bereitstellung von Inputdatenspektren zur Durchführung optimierter Bezugsartanalysen



Literaturverzeichnis

- Abadie, J. (1978), "The GRG Method for Non-Linear Programming", in: Greenberg, H.J. (Hrsg. 1978), Sijthoff and Noordhoff, Alphen aan den Rijn, The Netherlands 1978.
- Ackoff, R.L. (1970), A Concept of Corporate Planning, New York, London etc., Wiley 1970.
- Anderson, O., Popp, W., Schaffranek, M., u.a. (1976), Schätzen und Testen, Eine Einführung in die Wahrscheinlichkeitsrechnung und schließende Statistik, Berlin, Heidelberg, New York, Springer 1976.
- Dies., (1978), Grundlagen der Statistik, Amtliche Statistik und beschreibende Methoden, Berlin, Heidelberg, New York, Springer 1978.
- Ansoff, H.J. (1965), Corporate Strategy, Mc Graw Hill 1965.
- Ansoff, H.J., Declerck, R.P. and Hayes, R.L. (Hrsg. 1976), From Strategic Planning to Strategic Management, London etc., 1976.
- Beale, E.M.L. (1970), "Advanced Algorithmic Features for General Mathematical Programming Systems", in: Abadie, J. (Hrsg., 1970), Integer and Nonlinear Programming, Amsterdam, North Holland Publ. Co. 1970.
- Biggs, M.C. (1971), Computational Experience with Murray's Algorithm for Constrained Minimization, Technical Report No. 23, Numerical Optimization Centre, The Hatfield Polytechnic, Hatfield, England, 1971.
- Bartholomew-Biggs, M.C. (1979), An Improved Implementation of the Recursive Quadratic Programming Method for Constrained Minimization, Technical Report No. 105, Numerical Optimization Centre, The Hatfield

- Polytechnic, Hatfield, England  
1979.
- Davidson, W.C. (1959), "Variable Metric Method for Minimization", in: Atomic Energy Commission Research and Development Report, ANL-5990, 1959.
- Fiacco, A.V., McCormick, G.P. (1968), Nonlinear Sequential Unconstrained Minimization Techniques, New York, Wiley 1968.
- Fletcher, R., Powell, M.J.D. (1963), "A Rapidly Convergent Descent Method for Minimization", in: The Computer Journal, Vol. 7, a.a.O., S. 163 ff., 1963.
- Fletcher, R. (1975), "An Ideal Penalty Function for Constrained Optimization", in: Mangasarian, O.L., Meyer, R.R., Robinson S.M. (Hrsg., 1975), Nonlinear Programming 2, New York, Academic Press 1975.
- Friedrichs, J. (1981), Methoden empirischer Sozialforschung, Opladen, Westdeutscher Verlag 1981.
- Gill, P.E., Murray, W. (Hrsg. 1974), Numerical Methods for Constrained Optimization, New York, Academic Press 1974.
- Hanssman, F. (1978), Einführung in die Systemforschung, München, Oldenbourg 1978.
- Ders., (1982), Quantitative Betriebswirtschaftslehre, München, Oldenbourg 1982.
- Hestenes, M.R. (1969), "Multiplier and Gradient Methods", in: Journal of Optimization Theory and Applications, Vol. 4, a.a.O. S. 303 ff., 1969.
- Hinterhuber, H.H. (1977), Strategische Unternehmensführung, Berlin, New York, de Gruyter 1977.
- Indusi, J.P. (1972), "A Computer Algorithm for constrained minimization", in:

- Szegö, G.P. (Hrsg., 1972), Minimization Algorithms, New York, London, Academic Press 1972.
- Kirsch, W., Esser, W.M. und Gabele, E. (1978), Reorganisation, München 1978.
- Lasdon, L.S., Waren, A.D., Jain, A., Ratner, M. (1978), "Design and Testing of a Generalized Reduced Gradient Code for Nonlinear Programming", in: ACM Transactions on Mathematical Software, Vol. 4, No. 1, a.a.O. S. 34 ff., 1978.
- Lootsma, F.A. (1978), "The ALGOL 60 Procedure MINIFUN for Solving Nonlinear Optimization Problems", in: Greenberg, H.J. (Hrsg., 1978), Sijthoff and Noordhoff, Alphen aan den Rijn, The Netherlands 1978.
- Murray, W. (1969), "An Algorithm for Constrained Minimization", in: Fletcher, R. (Hrsg., 1969), Optimization, London, New York, Academic Press 1969.
- Mylander, W.C., Holmes, R.L. and Mc Cormick, G.P. (1971), A Guide to SUMT-Version 4: The Computer Program Implementing the Sequential Unconstrained Minimization Technique for Nonlinear Programming, Research Analysis Corporation, Mc Lean, Virginia, 1971.
- Peschon, J., Peterson, N.M., (1975), "Optimization and Simulation Computations in Advanced Energy Control Centers for Electric Power Utilities", in: Proceedings of the XX International Meeting, The Institute of Management Sciences, on Management Sciences Developing Countries, and National Priorities, Jerusalem Academic Press 1975.
- Pierre, D.A., Lowe, M.J. (1975), Mathematical Programming via Augmented Lagrangians. An Introduction with Computer Programs,

- Reading, Massachusetts, Addison-Wesley Publishing Company 1975.
- Powell, M.J.D. (1969), "A Method for Nonlinear Constraints in Minimization Problems", in: Fletcher, R. (Hrsg., 1969), Optimization, London, New York, Academic Press 1969.
- Reklaitis, G.V.,  
Philipps, D.T. (1975), "A Survey of Nonlinear Programming", in: AIIE Transactions, Vol. 7, No. 3, a.a.O. S. 235 ff., September 1975.
- Rockafellar, R.T.  
(1974), "Augmented Lagrange Multiplier Functions and Duality in Non-Convex Programming", in: SIAM Journal on Control, Vol. 12, a.a.O. S. 268 ff., 1974.
- Roelle, H. (1971), "Modellgestützte Systemanalyse, Informationssystemplanung, Matrixmanagement und Veränderungspromotor für die MIS-Gestaltung", in: Grochla, E., Szyferski, N. (Hrsg., 1971), BIFOA-Arbeitsbericht 1971/2, Köln, Wison 1971.
- Rosen, J.B. (1960), "The Gradient Projection Method for Nonlinear Programming, Part I.", in: J. SIAM, Vol. 8, No. 1, a.a.O. S. 181 ff., März 1960.
- Sasieni, Yaspan und  
Friedmann (1967), Methoden und Probleme der Unternehmensforschung, Würzburg, 1967.
- Schittkowski, K. (1980), Nonlinear Programming Codes, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Vol. 183, Berlin, Heidelberg, New York, Springer 1980.
- Simon, H. (1973), Strategic Planning, Abstract of a Seminar in Groningen, 1973.
- Thompson, J.D. (1967), Organizations in Action, New York 1967.

Wolfe, P. (1967),

"Methods for Linear Constraints",  
in:  
Abadie, J. (Hrsg. 1967), Non-  
linear Programming, Amsterdam,  
North-Holland Publishing Company  
1967.



### Lebenslauf

Am 25. März 1949 wurde ich als Sohn des Bergmannes Karl Kozak und seiner Ehefrau Anna, geb. Gschwendtner in Hausham/Obb. geboren.

Nach achtjähriger Volksschulzeit, besuchte ich die Rudolf-Diesel-Realschule in München. 1967 begann ich ein zweijähriges Praktikum in einer elektrotechnischen Firma in München.

Zum Wintersemester 1969/ 70 schrieb ich mich an der Fachhochschule München für das Fach Elektrotechnik ein, das ich im Juli 1972 mit dem Examen für Diplomingenieure (FH) abschloß.

Im Anschluß daran begann ich mit dem Wintersemester 1972/73 mein Studium der Betriebswirtschaftslehre an der Universität in München. Dort bestand ich im Dezember 1977 das Examen für Diplom-Kaufleute.

Seit dieser Zeit, bin ich bei einem größeren Unternehmen in München tätig.

Wolfgang Kozak









